

국토교통연구기획사업

자율주행 기반 스마트철도 핵심기술 개발 기획 최종보고서
[PART III] 지능형 자가진단기반
능동유지보수 핵심기술

2017. 11.

주관연구기관 / 한국철도기술연구원

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

Land · Infrastructure and Transport
R&D Report

자율주행 기반 스마트철도 핵심기술 개발기획 최종보고서 (III)

국토교통과학기술진흥원
국토교통부

<제 목 차 례>

제1장 기술의 정의 및 필요성	1
1절 기술의 정의 및 분류체계	1
1. 기술의 개요	1
2. 기술의 정의	4
3. 기술 분류체계	8
4. 세부 기술내용	9
2절 기술개발의 필요성	16
1. 철도차량 유지보수 고도화의 필요성	16
2. 철도차량 유지보수 패러다임의 변화	17
3. 기술발전 및 스마트 유지보수의 필요성	18
4. 기술 미개발시의 예상되는 문제점 및 대응방안	20
제2장 국내외 동향 및 환경분석	23
1절 국내외 정책동향	23
1. 국내 정책동향	23
2. 해외 정책동향	28
3. 국내외 정책동향 분석 시사점	32
2절 국내외 시장현황 및 전망	33
1. 국내 시장현황 및 전망	33
2. 해외 시장현황 및 전망	39
3. 시장분석 결론 및 시사점	43
3절 기술(특허, 논문 등) 동향	44
1. 특허동향	44
2. 논문동향	64
3. 연구개발 동향	74
4. 기술동향 분석 결론 및 시사점	101
4절 기술수준 분석	105
1. 기술 수요조사	105
2. 기술예측조사	120
3. 우선순위조사	127
5절 유사과제분석 및 기존기술(연구)와의 차별성	132
1. 유사과제 분석	132
2. 유사과제 연계성	134
3. 기술확보전략	136
6절 국내 연구개발 인프라 분석	138

1. 기술개발 SWOT 분석	138
2. 연구진의 연구개발 역량	140
3. 인프라 설비	141
제3장 연구개발과제 구성 및 추진전략	144
1절 비전 및 목표설정	144
1. 비전 및 목표	144
2절 기술개발에 따른 미래상	145
1. 현황 및 미래상	145
2. 철도산업 생태계의 변화	147
3. 기술개발 전략 및 효과	148
3절 연구개발 과제 구성	150
4절 세부과제별 주요내용 및 추진전략	151
1. 세부과제별 주요내용	151
2. 추진전략	159
5절 연구추진체계	161
1. 연구추진체계	161
2. 연구추진체계 구성	162
3. 연구추진체계간 고려사항	163
6절 기술/성과 로드맵	164
1. 세부 과제별 연차별 기술로드맵	164
2. 세부과제별 성과목표	167
3. 성과물 검증방안	169
제4장 사전타당성 검토	171
1절 정책적 타당성	171
1. 상위계획과의 부합성	171
2. 사업추진의지	172
2절 기술적 타당성	174
1. 사업 논리모형	174
2. 기획과정의 적절성	175
3. 연구목표의 적절성	175
4. 기술개발 성공가능성(기술 추세, 기술수준 분석)	178
5. 기존 사업과의 중복성	194
3절 경제적 타당성	198
1. 비용 추정	198
2. 편익 추정	199

3. 경제성 분석	203
4절 타당성 검토 종합	206
1. 기술개발투자의 시급성	206
2. 정부 상위계획과의 부합성	206
3. 경제적 타당성 검토	207
4. 정부 미지원시 문제점	208
제5장 자원투입계획	209
1절 연구시설 및 장비 투입계획	209
2절 인력투입계획	211
3절 소요예산 투입계획	212
1. 총 연구비	212
2. 세부과제별 연구비	212
3. 세부과제별 소요예산	213
제6장 과제공모 방안	215
1절 과제제안요구서	215
1. (총괄) 지능형 자가진단기반 능동유지보수 핵심기술	215
2. (1세부) 스마트센서기반 철도차량 자동센싱 기술개발	220
3. (2세부) 차량 주요장치 자가상태진단 기술 및 유지보수지원 시스템개발	224
2절 공모조건	230
3절 선정평가 방법 및 기준	231

< 표 차례 >

[표 1.1] IoT 기반 철도유지보수 기술수준 및 적용기술	4
[표 1.2] 자가진단기반 능동유지보수기술 분류체계	8
[표 1.3] 상태검사장비 등 중요장비 성능 현황	19
[표 2.1] 철도주요지표 변화	25
[표 2.2] 국내 도시철도차량 운영기관 전기동차 보유현황	33
[표 2.3] 도시철도 운영기관별 철도차량 경정비검사 현황	35
[표 2.4] 도시철도 운영기관별 철도차량 중정비검사 현황	36
[표 2.5] 운영기관별 보유장비 현황	37
[표 2.6] 지능형 센싱기술-특허분석기준	44
[표 2.7] 지능형 센싱기술-특허분석범위	44
[표 2.8] 이동식 자동검측기술-특허분석기준	49
[표 2.9] 이동식 자동검측기술-특허분석범위	49
[표 2.10] 자가진단기술-특허분석기준	54
[표 2.11] 자가진단기술-특허분석범위	54
[표 2.12] 능동유지보수기술-특허분석기준	59
[표 2.13] 능동유지보수기술-특허분석범위	59
[표 2.14] 지능형 센싱기술-논문분석기준	64
[표 2.15] 지능형 센싱기술-논문분석범위	64
[표 2.16] 이동식 자동검측기술-논문분석기준	66
[표 2.17] 이동식 자동검측기술-논문분석범위	67
[표 2.18] 자가진단기술-논문분석기준	69
[표 2.19] 자가진단기술-논문분석범위	69
[표 2.20] 능동유지보수기술-논문분석기준	71
[표 2.21] 능동유지보수기술-논문분석범위	72
[표 2.22] 센서 종류와 출력	74
[표 2.23] 국내외 기술수준 분석	102
[표 2.24] 기술수요조사 제안과제 리스트	110
[표 2.25] 후보 기술과제 리스트(17개)	112
[표 2.26] 목표부합성과 인프라 적정성에 의한 선정 과제리스트	113
[표 2.27] 기술예측조사 평가항목	120
[표 2.28] 유사·중복 제안 과제 통합	121
[표 2.29] 목표 부합성 및 인프라 적정성 평가 결과	122
[표 2.30] 최종 후보과제 선정 결과	123

[표 2.31] 후보과제별 최고기술 보유국 및 대비 국내 기술 수준 결과	125
[표 2.32] 우선순위조사 평가지표 항목	127
[표 2.33] 능동유지보수기술 분야 우선순위 조사 과제 리스트	128
[표 2.34] 우선순위조사 평가지표 항목	129
[표 2.35] 능동유지보수기술 분야 우선순위 조사 결과	130
[표 2.36] 능동유지보수기술 분야 최종 연구 과제	131
[표 2.37] 철도차량 자동센싱 기술에 대한 SWOT 분석	138
[표 2.38] 자가진단 및 능동유지보수기술에 대한 SWOT 분석	139
[표 2.39] 철도 모니터링/유지보수 관련 국내 전문인력 현황	140
[표 2.40] 연구기반시설 구축현황	141
[표 2.41] 철도 모니터링/유지보수 관련 인프라 수준 비교	143
[표 3.1] 제 1 세부과제 주요기술 년차별 추진계획	153
[표 3.2] 제 2 세부과제 성과지표 및 년차별 달성목표	157
[표 3.3] 연구추진체계 구성 (1세부과제)	162
[표 3.4] 연구추진체계 구성 (2세부과제)	163
[표 3.5] 제 1 세부과제 성과지표 및 년차별 달성목표	167
[표 3.6] 제 2 세부과제 성과지표 및 년차별 달성목표	168
[표 3.7] 제 1 세부과제 성과지표 및 성과물 검증방안	169
[표 3.8] 제 2 세부과제 성과지표 및 성과물 검증방안	170
[표 4.1] 능동유지보수 사업 논리모형	174
[표 4.2] 전동차 검수 도착 점검표	180
[표 4.3] 전동차 검수 일상 검사표	182
[표 4.4] 전동차 검수 월상 검사표	185
[표 4.5] 연차별 연구개발비용 투입계획	198
[표 4.6] 기관별 전동차 보유현황	198
[표 4.7] 연차별 상용화비용 투입계획	199
[표 4.8] 편익의 구성 및 내용	199
[표 4.9] 광역 및 도시철도 차량 유지보수 인원 산정기준	200
[표 4.10] 도시철도 기관 평균 인건비	200
[표 4.11] 검사종별 자동화 가능항목 및 도입효과 예측	201
[표 4.12] 철도차량산업의 부가가치율	202
[표 4.13] 우리나라 R&D 스톡의 성장기여도	202
[표 4.14] 연차별 내수수요전망	202
[표 4.15] 연간 수출편익 추정	203
[표 4.16] 연간 유지보수비용 절감편익 추정	203

[표 4.17] 경제성 분석 결과 (2016년 현재가치 환산)	204
[표 4.18] 연구개발 부문의 경제성 분석 결과	204
[표 4.19] 상용화 부문의 경제성 분석 결과	205

<그림 차례>

[그림 1.1] 유지보수체계에 따른 비용 및 신뢰성 관계	2
[그림 1.2] 광의의 유지보수자원 3요소	3
[그림 1.3] 유지보수기술의 발전방향	3
[그림 1.4] IoT 기반 철도유지보수를 위한 요소기술	4
[그림 1.5] 지능형 자가진단 및 능동유지보수 기술 정의	7
[그림 1.6] 이상상태 진단을 위한 지능형 센싱기술 개념도	10
[그림 1.7] 이동식 자동검측기술 개념도	11
[그림 1.8] 빅데이터분석 기반 철도부품의 자가진단 및 예측 기술 개념도	13
[그림 1.9] 차량의 능동 유지보수 기술 개념도	14
[그림 1.10] 운행지연 5분 이상을 야기한 KTX 사고/장애 원인	16
[그림 1.11] 지자체 철도운영 문제점	17
[그림 1.12] 유지보수 주체 현황	18
[그림 1.13] 철도마켓의 진화 대응	18
[그림 1.14] 일상검지장치 개념도(우진산전)	19
[그림 1.15] 차륜형상측정장치(샬롬엔지니어링)	19
[그림 1.16] 도시철도차량의 노후화에 대한 기사	21
[그림 1.17] 도시철도차량의 정비작업	21
[그림 1.18] ICT 기술을 융합한 철도기술발달	22
[그림 2.1] 철도기술부분 중점 추진분야	24
[그림 2.2] Shift2Rail의 중점 추진분야	29
[그림 2.3] 일본의 상태기반유지보수에 기초한 스마트 유지보수	31
[그림 2.4] 일본철도연구소의 목표 및 비전	32
[그림 2.5] 철도차량 경정비 프로세스	36
[그림 2.6] 대한민국 철도유지보수 시장규모(단위: 백만 유로)	38
[그림 2.7] 아시아 철도유지보수시장규모(단위: 백만 유로)	38
[그림 2.8] 세계철도시장 크기 및 2020년까지 예측 성장률	39
[그림 2.9] 세계 상위 5위 철도시장 주도국	39
[그림 2.10] 세계 철도유지보수시장(2011년)	40
[그림 2.11] 유지보수시장 규모 및 수송수단별 규모(2013년)	40
[그림 2.12] 세계 상위 10위 유지보수시장 크기(단위: 백만 유로)	41
[그림 2.13] 차량분야 유지보수시장 규모(2013년)	41
[그림 2.14] 유지보수시장 부문별 비율(2013년)	42
[그림 2.15] 유지보수시장 규모 및 연평균 성장률(2013-2018)	42

[그림 2.16] 세계 톱 10위 유지보수서비스 제공 기업 순위(2013년, 단위: 백만 유로)	43
[그림 2.17] 지능형 센싱기술-특허 출원년도 및 국가별 출원추이	45
[그림 2.18] 지능형 센싱기술-세부기술별 특허출원동향	46
[그림 2.19] 지능형 센싱기술-주요 출원인 동향	46
[그림 2.20] 지능형 센싱기술-연도별 주요 출원인 동향	47
[그림 2.21] 지능형 센싱기술-기술별/국가별 기술 분포(버블형)	47
[그림 2.22] 지능형 센싱기술-국가별 출원건수 및 시장 확보 지수	48
[그림 2.23] 지능형 센싱기술 -국가별 인용도지수	48
[그림 2.24] 지능형 센싱기술-국가별 영향력지수 및 기술력지수	49
[그림 2.25] 이동식 자동검측기술-출원년도 및 국가별 출원추이	50
[그림 2.26] 이동식 자동검측기술-세부기술별 특허출원동향	51
[그림 2.27] 이동식 자동검측기술-주요 출원인 동향	51
[그림 2.28] 이동식 자동검측기술-연도별 주요 출원인 동향	52
[그림 2.29] 이동식 자동검측기술-기술별/국가별 기술 분포(버블형)	52
[그림 2.30] 이동식 자동검측기술-국가별 출원건수 및 시장 확보 지수	53
[그림 2.31] 이동식 자동검측기술-국가별 인용도지수	53
[그림 2.32] 이동식 자동검측기술 -국가별 영향력지수 및 기술력지수	53
[그림 2.33] 자가진단기술-출원년도 및 국가별 출원추이	55
[그림 2.34] 자가진단기술-세부기술별 특허출원동향	55
[그림 2.35] 자가진단기술-주요 출원인 동향	56
[그림 2.36] 자가진단기술-연도별 주요 출원인 동향	56
[그림 2.37] 자가진단기술-기술별/국가별 기술 분포(버블형)	57
[그림 2.38] 자가진단기술-국가별 출원건수 및 시장 확보 지수	57
[그림 2.39] 자가진단기술-국가별 인용도지수	58
[그림 2.40] 자가진단기술-국가별 영향력지수 및 기술력지수	58
[그림 2.41] 능동유지보수기술-출원년도 및 국가별 출원추이	60
[그림 2.42] 능동유지보수기술-세부기술별 특허출원동향	60
[그림 2.43] 능동유지보수기술-주요 출원인 동향	61
[그림 2.44] 능동유지보수기술-연도별 주요 출원인 동향	61
[그림 2.45] 능동유지보수기술-기술별/국가별 기술 분포(버블형)	62
[그림 2.46] 능동유지보수기술-국가별 출원건수 및 시장 확보 지수	62
[그림 2.47] 능동유지보수기술 -국가별 인용도지수	63
[그림 2.48] 능동유지보수기술-국가별 영향력지수 및 기술력지수	63
[그림 2.49] 지능형 센싱기술-논문 주요 발표기관 추이	65
[그림 2.50] 지능형 센싱기술-출판 저널 추이	65

[그림 2.51] 지능형 센싱기술-기술별 논문 발표 국가 추이	66
[그림 2.52] 이동식 자동검측기술-논문 주요 발표기관 추이	67
[그림 2.53] 이동식 자동검측기술-출판 저널 추이	68
[그림 2.54] 이동식 자동검측기술-기술별 논문 발표 국가 추이	68
[그림 2.55] 자가진단기술-논문 주요 발표기관 추이	70
[그림 2.56] 자가진단기술-출판 저널 추이	70
[그림 2.57] 자가진단기술-기술별 논문 발표 국가 추이	71
[그림 2.58] 능동유지보수기술-논문 주요 발표기관 추이	72
[그림 2.59] 능동유지보수기술-출판 저널 추이	73
[그림 2.60] 능동유지보수기술-기술별 논문 발표 국가 추이	73
[그림 2.61] 철도차량 일상검수장치(예)	75
[그림 2.62] 머신비전 기술	75
[그림 2.63] 3차원 영상정보를 이용하여 브레이크 패드 검사	76
[그림 2.64] 철도시스템 미래형 무선 스마트 autonomous 센싱 기술	77
[그림 2.65] 적외선 열화상 카메라를 이용한 차량하부 발열상태 모니터링	77
[그림 2.66] 음향홀로그래피법을 이용한 철도차축베어링 이상 진단	78
[그림 2.67] 음향홀로그래피를 이용한 차량하부 소음상태평가	78
[그림 2.68] 레일 설치형 차륜 답면 탐상용 시험	78
[그림 2.69] 차륜결함검사장치	79
[그림 2.70] 차륜 진동 감지장치	79
[그림 2.71] 제동력 측정을 위한 무선 스마트 센서(예)	80
[그림 2.72] Top, side, and underside views from the FATSS system.	81
[그림 2.73] 독일 지멘스(Siemens) 레일유지보수서비스 개념도	81
[그림 2.74] 봄바르디아의 차동 차량 검사시스템	82
[그림 2.75] 에코마이스터 옥상감시장치(예)	82
[그림 2.76] 철도차량 하부정비	83
[그림 2.77] 자동화 기기에 의한 물리량 측정	83
[그림 2.78] 카메라 비전을 이용한 결함검사	84
[그림 2.79] 자동검측 로봇 및 사양	84
[그림 2.80] IPA의 인간-로봇 협업 기술	85
[그림 2.81] DLR의 Light weight arm	85
[그림 2.82] 이탈리아 PRISMA 연구소	86
[그림 2.83] 안전조인트(수동안전관절 조인트, MR 유체 안전조인트)	86
[그림 2.84] 중공형 구동 모듈을 활용한 로봇 플랫폼	86
[그림 2.85] 현재 및 차세대 TCMS 아키텍처	87

[그림 2.86] 베어링 진단시스템	88
[그림 2.87] 베어링 진단을 위한 수명 모델 및 데이터 혼합 알고리즘	88
[그림 2.88] 화차 및 기관차의 주요검사 부위	89
[그림 2.89] 목침목의 형상인식과 다양한 형태의 이미지 프로세싱 결과	89
[그림 2.90] 차륜 파손 예측을 위한 데이터 마이닝 프레임 워크	90
[그림 2.91] 회귀모델 적용 시 시험결과	90
[그림 2.92] WILD와 HBD의 데이터를 이용한 손상맵	91
[그림 2.93] 차량의 상태 판단을 위한 결정 트리	91
[그림 2.94] 차량유지보수 시스템	92
[그림 2.95] 차량유지보수 데이터와 유지보수 지원시스템의 처리 절차	93
[그림 2.96] 유지보수의 단계적 방법과 고려사항	93
[그림 2.97] IT센서 네트워크 기반 유지보수 결정 프로세스	94
[그림 2.98] 차량 유지보수의 진단대상과 고장레벨	94
[그림 2.99] 차량 유지보수 시간 최적화와 모듈화	95
[그림 2.100] 모니터링 데이터기반 유지보수의 일반적인 프로세스	96
[그림 2.101] 스마트 기술을 이용한 차량유지보수 계획	97
[그림 2.102] 빅데이터 분석을 이용한 차량 유지보수데이터의 처리방법	98
[그림 2.103] 차량 유지보수시스템의 변화	98
[그림 2.104] 차상 지상 센서에 의한 차량 유지보수 검사방법의 변천	99
[그림 2.105] 일본(JR 토카이도) 고속차량의 유지보수 데이터 분석방법	99
[그림 2.106] 차량 유지보수 프로세스(Orbita)	100
[그림 2.107] 차량 유지보수 프로세스(영국)	100
[그림 2.108] 향후 실시간 디바이스의 변화	100
[그림 2.113] 기술수요조사 및 자문회의에 의한 중복 후보과제 통합	111
[그림 2.114] 능동유지보수기술 분야 기술 및 사회·경제 측면의 중요 요소	124
[그림 2.115] 능동유지보수기술 분야의 기술 성숙도 수준	124
[그림 2.116] 능동유지보수기술 분야의 최고기술 보유국 및 국내 기술 수준	125
[그림 2.117] 능동유지보수기술 분야의 장애요인 현황	126
[그림 2.118] 능동유지보수기술 분야의 우선순위 평가기준 가중치	129
[그림 2.119] 선행과제와의 연계방안	137
[그림 2.120] 철도연구원에 보유한 S/W 및 시험장비	142
[그림 3.1] 비전 및 목표	144
[그림 3.2] 지능형 센서기반 철도차량 자동센싱 기술의 미래상	145
[그림 3.3] 자가진단 및 능동유지보수 기술의 미래상	146
[그림 3.4] 철도 비즈니스 모델의 변화	147

[그림 3.5] 철도산업에서 유지보수 산업의 변화	148
[그림 3.6] 요소기술 확보단계 추진전략	159
[그림 3.7] 현황데이터 수집 및 시작품 단계	159
[그림 3.8] 테스트베드 성능검증단계 추진전략	160
[그림 3.9] 현장 적용단계 추진전략	160
[그림 3.10] 과제수행체계	161
[그림 3.11] 능동유지보수기술개발 로드맵	164
[그림 3.12] 스마트센서기반 철도차량 자동센싱 기술개발 로드맵	165
[그림 3.13] 스마트센서기반 철도차량 자동센싱기술 성과 로드맵	165
[그림 3.14] 자가상태진단기술 및 유지보수지원시스템 개발 로드맵	166
[그림 3.15] 자가상태진단기술 및 유지보수지원시스템 성과 로드맵	166
[그림 4.1] 도착검사항목 및 자동화 가능기술 분류	179
[그림 4.2] 도착검사항목 : 자동화 적용기술 및 적용방안	181
[그림 4.3] 일상검사항목 : 자동화 적용기술 및 적용방안	185
[그림 4.4] 월상검사항목 : 자동화 적용기술 및 적용방안	193

제1장 기술의 정의 및 필요성

1절 기술의 정의 및 분류체계

1. 기술의 개요

□ 철도차량 유지보수 기술

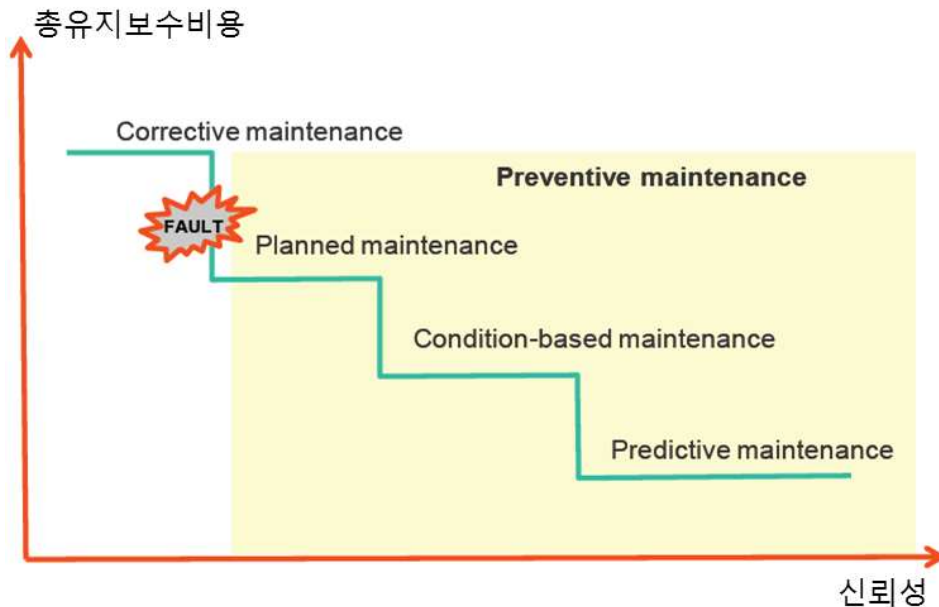
- 철도에서는 열차가 운행하는 중 고장이 발생하지 않도록 지속적인 유지보수를 수행하고 있으며, 과거에는 고장이 발생한 후 조치를 취하는 사후정비(Breakdown maintenance) 형태로 시행되다가 점차 고장이 발생하기 전 선제적으로 사전정비(Preventive maintenance)를 시행하는 형태로 유지보수 기술이 발전되고 있음.
- 사전정비는 철도차량 운행 중 일정한 운행거리 또는 운행시간에 도달하면 획일적으로 정비를 수행하는 형태로 국내 철도 운영사에서는 안전성 확보를 위해 운행거리와 운행 시간 중 먼저 도달되는 기준에 따라 유지보수를 수행하고 있음¹⁾
- 그러나 국외의 사례에 따르면 획일적인 예방정비는 80~90%의 기기가 잔여수명이 남은 상태에서 교체²⁾되며, 정비 후 고장이 많이 발생하는 것으로 나타나는 것을 볼 때 정비 체계의 개선이 필요함이 인식되고 있음
- 한편 철도차량 수명주기비용(Life cycle cost: LCC)에서 유지보수비용은 약 60~70%로 알려져 있으며, 유지보수 비용에서 인건비가 차지하는 비중³⁾은 차량운영 및 경정비를 담당하는 차량사업소는 80~90%, 중정비를 담당하는 차량정비단은 65~75%로 매우 큰 비중을 차지하고 있음
- 최근 철도차량은 시스템이 복잡해지고, 첨단화 되면서 고장의 발생형태도 다양화 되고 있으며, 철도차량의 각 장치 및 부품은 사용시간에 따라 노후화되는 것, 열차운행거리에 따라 마모되는 것, 사용횟수에 영향을 받는 것, 운행거리 및 시간에 관계없이 일정하게 유지되는 것 등으로 나뉨. 그러나 현행 철도차량 정비는 시간기반정비 (Time based maintenance: TBM)에만 의존하므로 각 부품의 마모특성 등을 반영한 신뢰성기반정비 (Reliability based maintenance: RBM)등의 도입이 필요함

1) 철도차량 유지보수 세칙, 별표 1 차종별 검수주기, 한국철도공사

2) Improving reliability and life cycle cost of rotating equipment in railway, SKF Insight Rail

3) 유양하, 철도차량 신뢰성기반유지보수 방안 연구, 한국철도학회논문집 제16권 제3호

- 철도차량은 공공부문의 특성상 이윤창출을 위한 경영방식을 무조건 고집할 수 없는 현실 속에서 도시철도의 적자운영은 모든 운영기관들이 가지고 있는 공통 문제이며, 나날이 증가되는 적자 운영을 극복하기 위하여 이용수요의 증대, 무임수송손실에 대한 정부 지원요구, 저비용·고효율의 유지보수체계 검토 등⁴⁾ 운영기관의 자발적 노력에 대한 필요성이 대두되고 있음



[그림 1.1] 유지보수체계에 따른 비용 및 신뢰성 관계

- 유지보수(Maintenance)는 관점에 따라 시스템을 운영하기 위한 전체 활동(주기적 예방 정비, 보수정비, 예비품 확보, 자원관리 등)인 광의의 개념 또는 원래의 목적하는 기능을 구현할 수 있도록 시스템의 상태를 유지하기 위한 직접적인 활동의 협의의 개념으로 정의됨
- 자가진단기반 능동유지보수(Self diagnosis based active maintenance)는 스스로 시스템의 상태를 진단하고, 이에 적절한 유지보수를 수행함으로써 상시적으로 일정한 수준 이상의 상태를 유지하기 위한 기술로 정의될 수 있음
- 철도차량 유지보수 자원 3요소⁵⁾는 시설 및 장비, 인력, 예비품으로 구분할 수 있으며, 시설 및 장비는 현행 유지보수체계 하에서 최소 수량을 배정하고 정상적인 철도차량의 운행에 부족한 부분이 없는지 시뮬레이션 함으로써 적절한 수량을 배치하며, 예비품의 경우에는 소모성과 수리순환 품목을 구분하여 필요수량을 산출함. 한편 소요인력의 경우

4) 김규중, 도시철도 전동차 유지보수체계의 개선에 관한 연구, 한국안전학회지, 제25권제1호
 5) 정운찬, 철도차량 유지보수자원 최적화 산출기법 연구, 한국철도학회 춘계학술대회논문집, 2015

에는 총 소요인시를 체크하고 이에 따른 소요인력의 수를 산출함



[그림 1.2] 광의의 유지보수자원 3요소

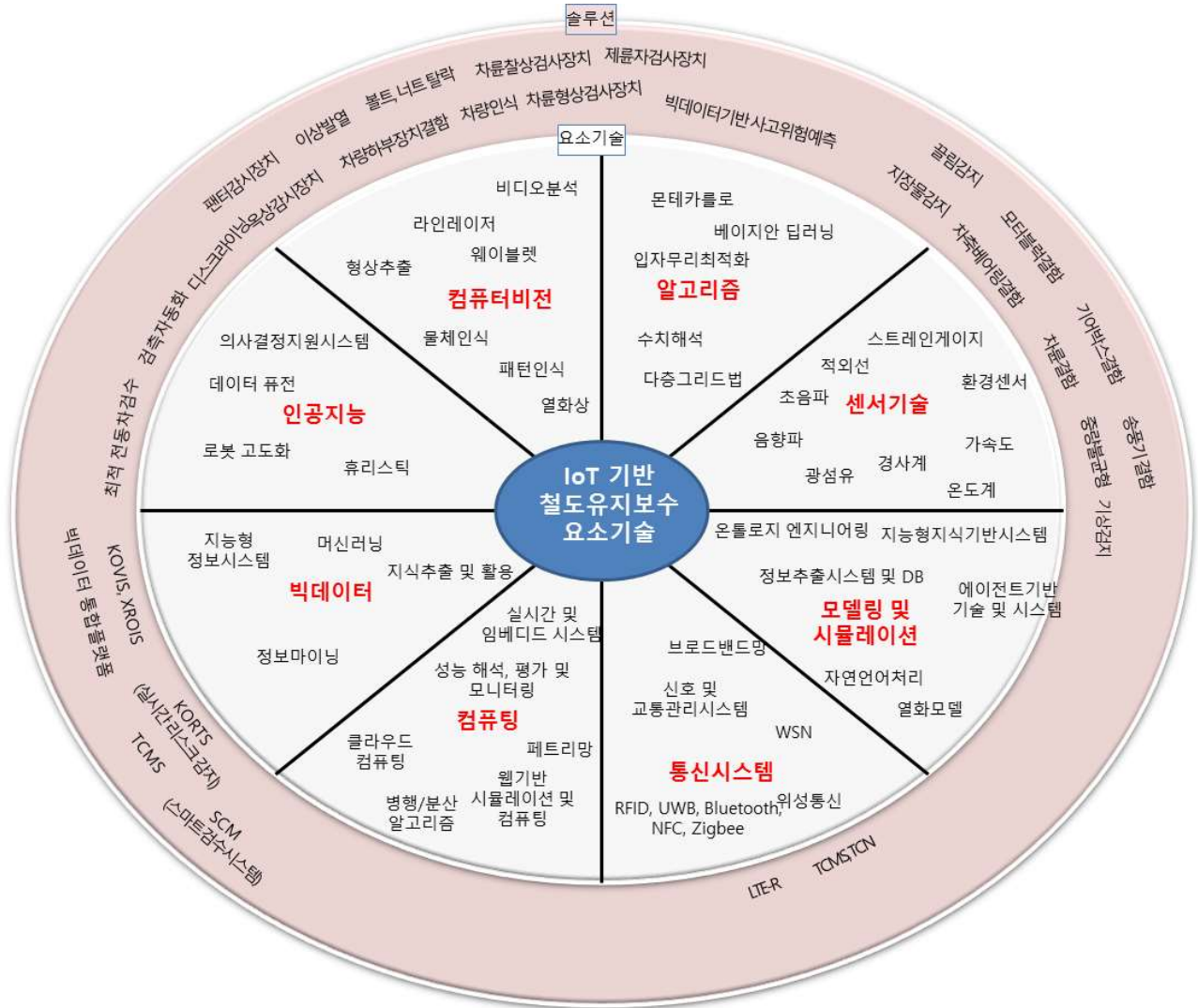
- 철도차량의 유지보수 기술은 지속적으로 발전할 것으로 예측되며, 현재 상태에 대한 이해 수준에서 미래의 상태에 대한 이해 및 그 이해를 바탕으로 현재 어떠한 유지보수 정책을 펼칠 것인가에 대해 결정하는 수준으로 진화할 것임



[그림 1.3] 유지보수기술의 발전방향

2. 기술의 정의

- 센싱, 인공지능, 빅데이터 등으로 대표되는 IoT (Internet of Things)기술의 철도유지 보수 적용을 위한 요소기술은 크게 알고리즘, 센서기술, 모델링 & 시뮬레이션 기술, 통신시스템 기술, 컴퓨팅 기술, 빅데이터, 인공지능, 컴퓨터 비전 등으로 나눌 수 있음



[그림 1.4] IoT 기반 철도유지보수를 위한 요소기술

[표 1.1] IoT 기반 철도유지보수 기술수준 및 적용기술

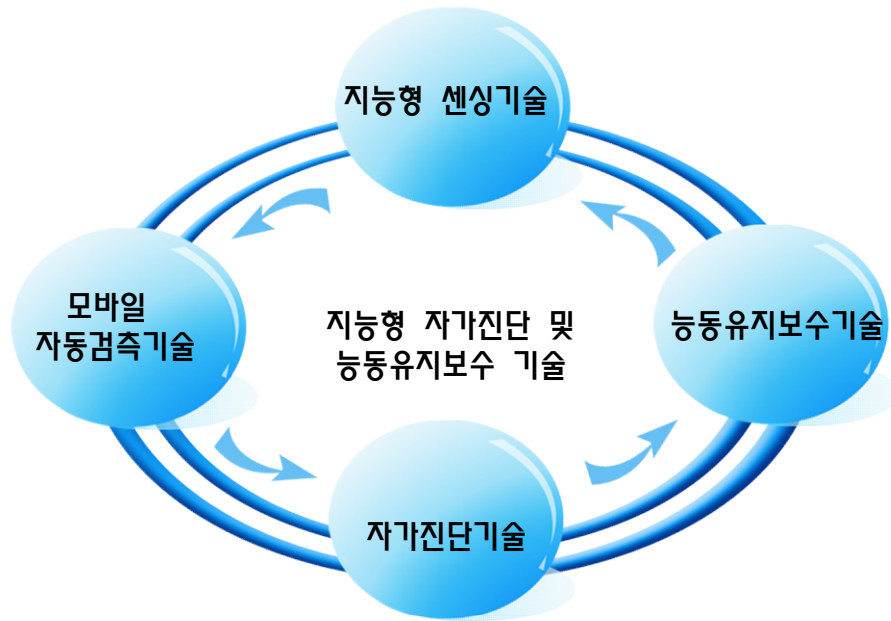
기술분야	요소기술	세계수준	국내 수준	요구성능 솔루션
센서 (Sensor)	스트레인게이지 (Strain gauge)	TRL 1 3 5 7 TRL 9 [Progress bar]	9	내구수명 30년
	초음파 (Ultrasonic)	TRL 1 3 5 7 TRL 9 [Progress bar]	5	결함탐상도 수 mm

기술분야	요소기술	세계수준	국내 수준	요구성능
				솔루션
	음향파 (Acoustic emission)	TRL 1 3 5 7 TRL 9 [Progress bar]	5	초기단계 원격손상 탐지 · 베어링 음향 감지
	광섬유 (Fiber-optic)	TRL 1 3 5 7 TRL 9 [Progress bar]	3	내구수명 30년
	가속도(Accelerometer)	TRL 1 3 5 7 TRL 9 [Progress bar]	9	30 km/h 이하속도 진동 · 대차거동 모니터링 · 차륜손상(찰상)탐지 · 윤증불균형탐지 · 장애물감지
	경사계 (Inclinometer)	TRL 1 3 5 7 TRL 9 [Progress bar]	9	내구수명 30년 · 사면 산사태 탐지기
	온도계 (Temperature)	TRL 1 3 5 7 TRL 9 [Progress bar]	9	비접촉, 원격탐지 ±1℃ · 핫박스 감지기 · 핫휠 감지기 · 냉각차륜 감지기
	환경센서 (Environmental)	TRL 1 3 5 7 TRL 9 [Progress bar]	9	CO ₂ , 미세먼지 등 · 환경모니터링 장치
컴퓨터 비전 (Computer vision)	비디오분석 (Video analysis)	TRL 1 3 5 7 TRL 9 [Progress bar]	5	실시간 비디오 분석 · 차륜거칠기 분석 · 차륜찰상탐지(±0.5mm) · 옥상감시장치
	라인레이저 (Line laser)	TRL 1 3 5 7 TRL 9 [Progress bar]	7	실시간 비디오 분석 · 차륜형상감지장치(±0.5mm) · 디스크마모감시장치(±10μ) · 제륜지검시장치(±1.0mm)
	형상추출 (Feature extraction)	TRL 1 3 5 7 TRL 9 [Progress bar]	7	· mm 단위 해상도(1/64,000초) · 자동차량인식 · 차륜프로파일 모니터링 · 팬터그래프 검사장치
	패턴인식 (Statistical pat. recog.)	TRL 1 3 5 7 TRL 9 [Progress bar]	5	시간이력 파형분석 · 궤도손상 검사장치
	물체인식 (Object recognition) 이미지프로세싱/트리거링/조명 /원근변환/보간/위치정렬/단위보정	TRL 1 3 5 7 TRL 9 [Progress bar]	5	부품단위 물체인식 · 차륜프로파일 모니터링
	웨이블렛 (Wavelet method)	TRL 1 3 5 7 TRL 9 [Progress bar]	5	
알고리즘 (Algorithms)	몬테카를로 (Monte Carlo)	TRL 1 3 5 7 TRL 9 [Progress bar]	7	모의실험 정밀도 95% · Mat lab 등
	베이지안 딥러닝 (Bayesian deep learning)	TRL 1 3 5 7 TRL 9 [Progress bar]	5	모의실험 정밀도 95% · 알파고 등
	입자무리최적화 (Particle swarm opt)	TRL 1 3 5 7 TRL 9 [Progress bar]	3	데이터셋 분류 유사도 98%
	수치해석(Numerical simulation)	TRL 1 3 5 7 TRL 9 [Progress bar]	5	실시간 해석결과 · In-house S/W · 상용 유한요소법 소프트웨어
	다층그리드법(Multi-level method)	TRL 1 3 5 7 TRL 9 [Progress bar]	5	다층 물리량에 대한 기법
빅데이터 (Big data analysis)	지능형 정보시스템(Intelligent info)	TRL 1 3 5 7 TRL 9 [Progress bar]	3	자동화된 프로세스 · 자산관리시스템
	머신러닝 (Machine learning)	TRL 1 3 5 7 TRL 9 [Progress bar]	3	자동화된 프로세스

기술분야	요소기술	세계수준	국내 수준	요구성능
				솔루션
	지식추출 및 활용 (Knowledge extraction and business process)	TRL 1 3 5 7 TRL 9 [Progress bar: 30%]	3	자동화된 프로세스
	정보마이닝 (Information mining)	TRL 1 3 5 7 TRL 9 [Progress bar: 30%]	3	자동화된 프로세스
인공지능 (Artificial intelligence)	의사결정지원시스템 (Decision support)	TRL 1 3 5 7 TRL 9 [Progress bar: 30%]	3	
	데이터퓨전 (Data fusion tech)	TRL 1 3 5 7 TRL 9 [Progress bar: 30%]	3	
	로봇고도화 (Advanced robotics)	TRL 1 3 5 7 TRL 9 [Progress bar: 30%]	3	
	휴리스틱 (Heuristic)	TRL 1 3 5 7 TRL 9 [Progress bar: 30%]	1	
컴퓨팅 (Computing)	실시간 및 임베디드 시스템 (Real-time and embedded systems)	TRL 1 3 5 7 TRL 9 [Progress bar: 60%]	5	저전력, 실시간 처리
	성능 해석, 평가 및 모니터링 (Performance analysis, evaluation and monitoring)	TRL 1 3 5 7 TRL 9 [Progress bar: 60%]	5	열화 진행시뮬레이션 등 실시간 상태평가
	클라우드 및 포그 컴퓨팅 (Cloud and fog computing)	TRL 1 3 5 7 TRL 9 [Progress bar: 60%]	5	원격 및 실시간 데이터 관리
	병행/분산 알고리즘 (Parallel/distributed architectures and algorithms)	TRL 1 3 5 7 TRL 9 [Progress bar: 60%]	5	실시간 데이터 처리
	웹기반 시뮬레이션 및 컴퓨팅 (Web-based simulation and computing)	TRL 1 3 5 7 TRL 9 [Progress bar: 60%]	5	원격 데이터 접근 강화
	페트리망 (Petri nets)	TRL 1 3 5 7 TRL 9 [Progress bar: 60%]	5	실시간 시뮬레이션
모델링 및 시뮬레이션 (Modeling and simulation)	온톨로지 엔지니어링 (Ontology engineering sharing and reuse)	TRL 1 3 5 7 TRL 9 [Progress bar: 30%]	3	유지보수 표준화
	정보추출시스템 및 DB (Information retrieval systems and database)	TRL 1 3 5 7 TRL 9 [Progress bar: 30%]	3	자동 정보추출 프로세스
	지능형지식기반시스템 (Intelligent knowledge based system)	TRL 1 3 5 7 TRL 9 [Progress bar: 30%]	3	지식기반 결정지원 시스템
	자연언어처리 (Natural language processing)	TRL 1 3 5 7 TRL 9 [Progress bar: 30%]	3	자연어 이해 및 처리
	에이전트기반 기술 및 시스템 (Agent based techniques and systems)	TRL 1 3 5 7 TRL 9 [Progress bar: 30%]	3	에이전트 기반 분산시스템
통신시스템 (Communication systems)	브로드밴드망 (Broadband networks)	TRL 1 3 5 7 TRL 9 [Progress bar: 60%]	7	대용량 데이터 전송 · 기가비트 열차내 통신망
	신호 및 교통관리시스템 (Signaling and traffic management systems)	TRL 1 3 5 7 TRL 9 [Progress bar: 60%]	9	· LET-R 통신망
	WSN (Widearea sensor networks)	TRL 1 3 5 7 TRL 9 [Progress bar: 60%]	9	기지내 무선망 구축
	RFID, UWB, Bluetooth, NFC, Zigbee	TRL 1 3 5 7 TRL 9 [Progress bar: 60%]	7	센서 통신 등

기술분야	요소기술	세계수준	국내 수준	요구성능
				솔루션
	위성통신(Satellite solutions)	TRL 1 3 5 7 TRL 9	5	

- 지능형 자가진단 및 능동유지보수 기술은 유지보수 효율화를 위하여 차상 모니터링시스템, 지상 자동화검측시스템 등으로부터 취득된 지능형 센싱정보를 바탕으로 주요장치의 자가진단 및 열화모델 기반 데이터 분석, 최적의 유지보수전략 수립 등을 통한 능동유지보수가 가능하게 하는 기술로 정의



[그림 1.5] 지능형 자가진단 및 능동유지보수 기술 정의

- 지능형 센싱기술(Intelligent sensing technology)이란 철도차량 능동유지보수를 위해 주요장치 개소에서 물리량(온도, 가속도, 탁도, 전류량, 토크 등) 데이터를 주기적 또는 요청에 의해 취득, 분석하여 사전에 정의된 기능(알람, 정지 등)을 수행하는 기술로 정의되며, 이를 위해서는 물리량 센싱은 물론, 디지털 신호를 전달하고, 논리적 기능과 지침을 분석 및 판단하는 기술이 필요함
- 이동식 자동검측기술(Mobile automatic inspection technology)이란 이동이 가능한 장치 또는 장비를 기반으로 상태검사가 필요한 위치에서 손상, 마모량, 형상, 치수 등 상태진단을 위해 필요한 정보를 자동으로 검측하는 기술로 정의되며, 작업자의 관리 하에 필요한 위치로 이동하여 필요한 정보를 획득함으로써, 주기적으로 모든 장치에 대해 일괄적으로 정보를 획득하는 기존의 검측형태에 비해 시간과 비용을 절감할 수 있음
- 빅데이터 분석기반 자가진단기술(Big data analysis based self-diagnosis technology)이란 다양한 물리량을 상호 비교분석하여 시스템의 이상 유무를 자체적으로 진단하는 기술로 정의되며, 철도차량의 경우에는 기동 시에 제어차 및 각 차량에 설치된

TCMS를 통하여 차량의 주요장치(인버터, 제동장치, 도어 등)에서 수집된 방대한 데이터를 적극적으로 활용하기 위한 기술임

- 능동유지보수기술(Active maintenance technology)이란 장치의 열화모델, 과거 운행 이력 및 센싱·모니터링 데이터를 종합적으로 고려하여, 위험도를 산출하고 위험도에 따라 유지보수 주기 및 활동을 능동적으로 수행하는 기술로 정의되며, 일괄적으로 전체 대상장치에 대해 수행하는 현재의 유지보수활동에 비해 위험도가 높은 장치의 유지보수를 집중적으로 수행함으로써 안전도를 높이고 유지보수비용을 줄일 수 있는 기술임

3. 기술 분류체계

- 지능형 자가진단 및 능동유지보수 기술은 “지능형 센싱기술”, “이동식 자동검측기술”, “빅데이터분석 기반 철도부품의 자가진단 기술”, “능동유지보수기술”의 4가지 핵심기술요소로 구성되어 있다.

[표 1.2] 자가진단기반 능동유지보수기술 분류체계

대분류 (영문)	중분류 (영문)	소분류 (영문)	세부기술
자가진단기반 능동유지보수 기술 (Technologies for active maintenance based self-diagnosis)	A. 지능형 센싱기술 (Technologies for Intelligent sensing)	AA. 차체/대차/판토 외관검사를 위한 머신비전 기술 (Machine vision inspection technology)	-3D 지능형 카메라 기반 스마트 비전센서 기술 -3D 지능형 물체형상 인식 및 분석기술 -3D 지능형 물체형상 인식 데이터마이닝 최적화 기술
		AB. 차륜/제륜자/디스크 손상측정을 위한 스캐닝 기술 (Scanning technology for damage inspection)	-3D 치수측정 레이저 센서 기술 -3D 치수측정 및 분석 기술 -차륜/디스크 손상상태 비파괴 스캐닝 기술
		AC. 차량하부 이상발열 측정을 위한 적외선 센싱기술 (Infrared sensing inspection technology)	-온도측정용 적외선 센서 기술 -온도 이미지 처리 기술
		AD. 대차 진동/소음/유량/타도 등 측정을 위한 스마트센싱 기술 (Smart sensor based inspection technology)	-물리량 측정 스마트 센서 기술 -대차모니터링시스템(BMS)기술 -데이터통신 인터페이스 기술 -TCMS연동 지능형 센싱 기술
	B. 이동식 자동검측기술	BA. 이동식 검측기술 (Mobile inspection technology)	- 시각센서, 적외선센서 등을 이용한 감지 및 인지기술

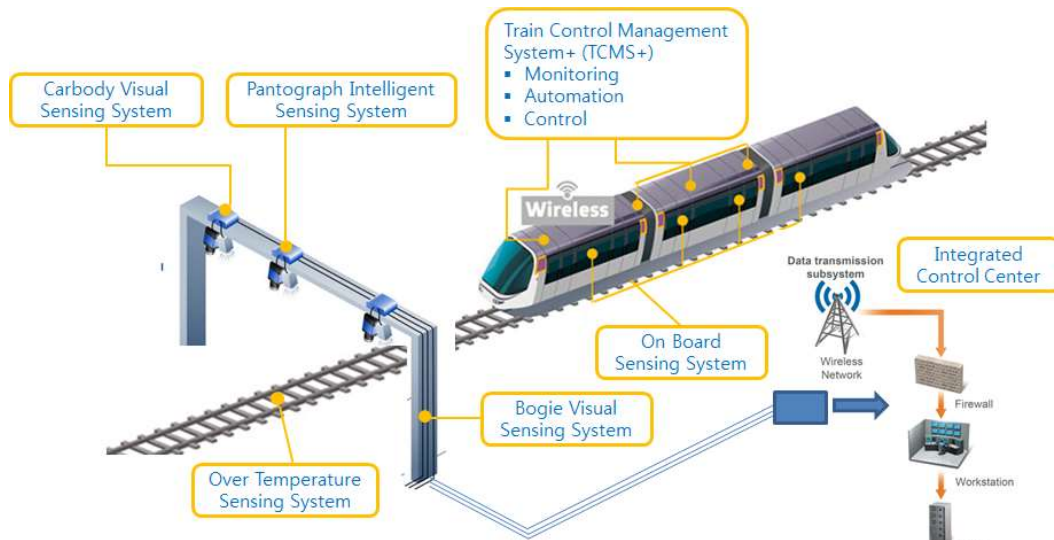
대분류 (영문)	중분류 (영문)	소분류 (영문)	세부기술
	(Technologies for mobile and automatic inspection measurement)		- 자기위치추정 및 제어기술
		BB.자동형상 및 치수측정기술 (Automated shape and dimensional inspection technology)	- 레이저 스캔 형상 측정 기술 - 비전 시스템을 이용한 외관 상태 측정 기술
	C.빅데이터 분석기반 주요장치의 자가진단 기술 (Technologies for self-diagnosis of major device utilizing big data analysis)	CA. 차체 및 대차의 외관상태 자가진단 및 예측 기술 (Self diagnosis and damage prediction technology)	- 패턴인식 및 머신러닝 기술 - 구조물 손상진단 및 예측기술
		CB. 차륜 손상 자가진단 및 예측기술 (Wheel damage diagnosis and prediction technology)	- 패턴인식 및 머신러닝 기술 - 차륜 손상진단 및 예측기술
		CC.제동 장치 손상 자가진단 및 예측기술 (Brake system damage diagnosis and prediction technology)	- 패턴인식 및 머신러닝 기술 - 제륜자, 디스크 손상진단 및 예측기술
		CD. 축상 베어링 손상 자가진단 및 예측기술 (Axle bearing damage diagnosis and prediction technology)	- 진동 및 온도 특성 평가기술 - 축상베어링 손상진단 및 예측기술
		CE.추진제어장치 손상진단/수명예측 기술(온도, 진동, 전류 등) (Traction control system diagnosis and prediction technology)	- 복합물리량 평가기법 개발 - 추진제어장치 손상진단 및 예측기술
	DC.능동유지보수 기술 (Technologies for proactive maintenance)	DA.일상/월상 유지보수 스케줄링 기술(비용/시간) (Maintenance scheduling technology)	- 주요장치의 기능저하 예측 및 유지보수 평가 - 유지보수 최적화 기술
		DB.위험도기반 차량상태 Heat Mapping 기술 (Risk based train condition visualization technology)	- 차량상태 가시화 기술 - 결함 정확도 분석 기술
		DC.모바일기반 유지보수 지원시스템 기술 (Mobile device based maintenance support ICT technology)	-모바일 기반 유지보수 판단/조치 기술 -가상시뮬레이션 기반 고장진단 및 대응 현시

4. 세부 기술내용

가. 지능형 센싱기술

(1) 기술의 개요

- 지능형 센싱기술은 물리적 입력(이미지, 레이저, 적외선, 온도, 운동 등) 데이터를 취득, 분석하고 정해진 행동을 수행하는 기술임. 현재 철도차량 유지보수는 기간이나 주행거리에 따라 정기적으로 검수하는 주기적 유지보수 체계를 적용하고 있으며, 대부분 작업자에 의한 수작업에 의존하고 있음
- 철도차량의 유지보수를 위한 검수종류는 경정비 검수로 일상검수 및 월상검수가 있으며 중정비 검수로 중간검수, 전반검수를 수행하고 있음. 경정비 검수는 수일 내에 수행하는 일상검수와 수개월 내에 수행하는 월상검수로 나누어지며, 대부분 검수자가 직접 주요 구성품의 작동상태를 확인하거나 외관상태를 검사하는 방법으로 이루어짐
- 경정비 검수의 대부분은 외관검사를 수행하는 업무이며, 자동화된 센싱기술을 이용하여 이상상태를 검사와 분석하여 유지보수가 필요한 부분은 유지보수 시스템에 통보할 수 있으면 검수에 소요되는 시간의 단축이 가능함. 이에 해당하는 일상 및 월상 검수항목의 지능형 센싱기술은 차체/대차/판토 외관검사 스마트 비전 센싱 기술, 차륜/제륜자/디스크 치수검사 레이저 스캔 센싱 기술, 차량하부 이상발열 측정 적외선 센싱 기술, 차상 이상상태 진단을 위한 IoT센싱 기술로 구분됨



[그림 1.6] 이상상태 진단을 위한 지능형 센싱기술 개념도

(2) 주요 연구내용

- 차체/대차/판토 외관검사 머신비전센싱 기술개발
 - 3D 지능형 카메라 기반 머신비전센싱 기술개발

- 차체/대차/판토 물체형상 인식 및 분석 기술개발
- 차체/대차/판토 물체형상 인식 데이터마이닝 최적화 기술개발
- 차륜/제륜자/디스크 손상상태 스캐닝 기술개발
 - 3D 치수측정 레이저 센싱 기술개발
 - 차륜/제륜자/디스크 치수측정 및 분석 기술개발
 - 차륜/제동 디스크 손상상태 비파괴 스캐닝 기술개발
- 차량하부 이상발열 측정 적외선 센싱 기술개발
 - 온도측정용 적외선 센싱 기술개발
 - 차량하부 이상발열 온도 이미지처리 기술개발
- 차상 이상상태 진단을 위한 IoT 센싱 기술개발
 - 차상 이상상태 진단 물리량 측정 IoT 센싱 기술
 - 차상 이상상태 IoT 서비스 인터페이스 기술
 - 차상상태 진단을 위한 TCMS연동 지능형 센싱 기술개발

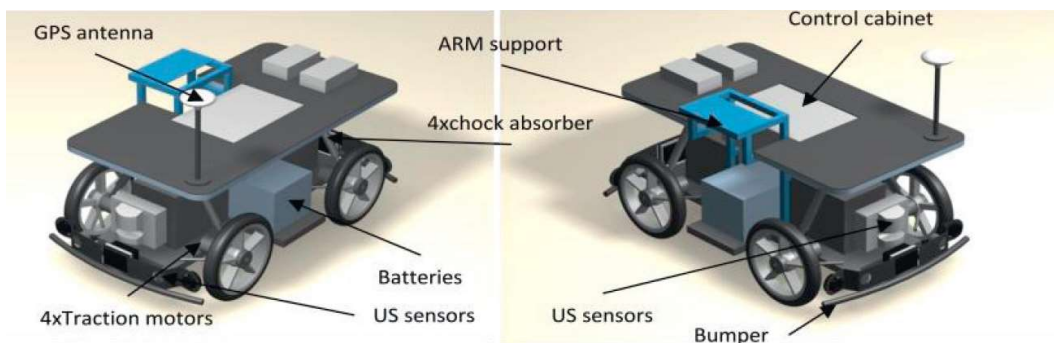
(3) 기술의 범위 및 한계

- 본 기술의 기획범위는 1단계 도시철도 차량의 센싱기술을 목표로 하며, 성능이 입증될 경우 2단계 일반 및 고속철도로 확장할 계획에 있음

나. 이동식 자동검측기술

(1) 기술의 개요

- 이동식 자동검측기술은 수동 및 반자동 제어를 통한 이동체를 기반으로 특정 환경에서 미리 짜인 절차에 따라 사람이 수행하기 힘든 검측을 수행하는 기술임



[그림 1.7] 이동식 자동검측기술 개념도

- 기능면에서 진공청소기나 물류창고관리 같은 단순 기능을 하는 자율이동 기술은 이미

상용화되고 있으며, 인간에 가까운 로봇, 인간과 함께 작업하거나 또는 인간의 노동력을 완전히 대체할 수 있는 자율이동 기술 등은 현재 활발히 개발되고 있음. 이동식 자동검측 기술은 환경정보와 위치정보를 기반으로 현재 위치로부터 목적지까지 경로를 생성하고 제어하는 기술체계를 의미하며, 주행기술은 이미 로봇청소기, 군용로봇, 무인주행 자동차, 농업용 무인트랙터 등 다양한 형태로 구현되고 있음

(2) 주요 연구내용

- 수동/반자동 이동제어 및 자동검측기술
 - 시각센서, 적외선센서 등을 이용한 감지 및 인지기술
 - 자기위치추정 및 제어 기술
 - 스마트 액츄에이터 등을 이용한 구동기술
- 자동형상 및 치수측정기술
 - 레이저 스캔 형상 측정 기술
 - 비전 시스템을 이용한 외관 및 치수상태 측정 기술

(3) 기술의 범위 및 한계

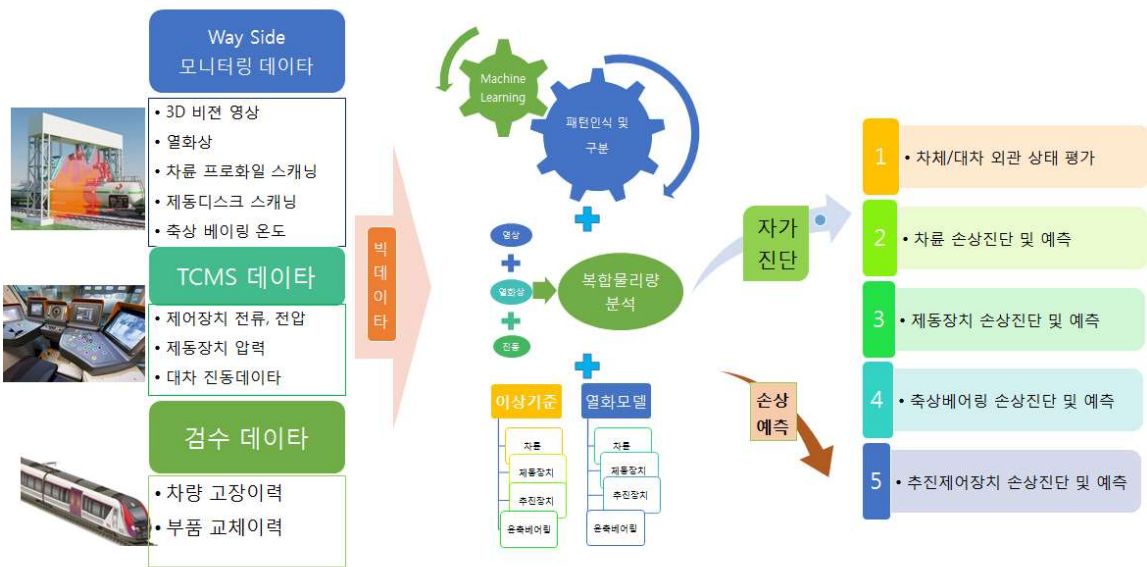
- 본 기술의 기획범위는 도시철도 및 고속철도의 주요 하부장치에 대한 검측을 목표로 하고 있으며, 세부 검측대상 및 물리량에 기술개발의 한계가 있음

다. 빅데이터분석 기반 철도부품의 자가진단 및 예측 기술개발

(1) 기술의 개요

- 자가진단은 의학적인 관점에서는 자신의 건강상태를 스스로 진단하거나 식별하는 과정을 말하며, 기계 및 전기장치의 경우에는 작동 시 자동으로 시스템의 이상 유무를 자체적으로 진단하는 기술을 의미함. 철도차량은 기동시에 차량에 설치된 TCMS를 통하여 차량의 상태를 진단하고, 차량의 도착 및 출차 시에 차량 부품의 이상상태를 자동으로 진단함
- 철도차량의 유지보수는 일상, 월상검사, 차량을 분해하여 검사하는 3년, 6년 검수 및 출·도착 검사 등 목적에 따라 다양함. 도착검사와 일상(출차)검사는 차량의 운행에 직접적인 영향을 미치므로 신속하고 정확한 검수가 필요하며, 차량의 운행율을 높이기 위해서는 검수시간을 단축하는 것이 필요함. 현재까지는 주로 검수자의 육안검사에 의하여 이루어지는 항목들이 많고, 차량의 하부부품은 먼지 등 이물질에 의하여 육안으로 확인하기 어려운 경우가 많으므로 육안 및 수작업에 의존하는 일상검사, 입·출차 검사의 오류방지 및 노동 생산성의 향상을 위해서는 첨단장비를 통하여 정확하고 자동으로 수행하는 기술이 필요함

- 철도차량 자가진단의 핵심은 차량이 정상적으로 동작하는지 평가하고 부품의 유지보수 및 교체시기를 예측하는 것이며, 이를 위해서는 방대한 데이터의 분석이 필요함. 입·출차 검사에서 가장 많은 시간이 소요되는 부분은 차량부품의 외관상태를 육안으로 검사하는 것이며, 외관 상태 검사는 부품의 탈락 및 열화를 검사하는 것으로 영상데이터를 이용하면 자동화 시킬 수 있음. 차량 전체에 대한 영상데이터 뿐만 아니라 열화상 데이터 및 기존의 검수 데이터를 이용하여 정확한 평가가 가능하도록 하여야 함. 다양한 종류의 부품에서 원하는 부품을 인식하고 이를 처리하기 위해서는 패턴인식기술, 머신러닝 기술 등이 필요함
- 철도차량의 주요장치의 열화상태를 진단하기 위해서는 이상상태를 평가하기 위한 열화기준(degradation criteria)이 필요하며, 향후 수명을 예측하기 위해서는 각각의 부품에 대한 열화모델(degradation model)이 필요함
- 현재 철도차량에 적용되는 진단시스템은 각각의 부품에 대하여 한 종류의 데이터를 이용하여 현재의 상태를 평가하고 이상유무를 판단하는 수준에서 완료하나, 향후에는 손상의 진전에 대해서도 예측할 필요가 있음. 철도차량 부품의 열화상태를 진단하기 위해서는 하나의 물리량으로 평가하는 것보다는 측정데이터 및 검수정보 데이터 등 다양한 데이터를 복합적으로 이용하여 평가하는 것이 정확하게 평가 할 수 있으며, 이러한 복합 물리량의 데이터는 방대하고, 문자 및 영상이 포함되어 있는 빅 데이터로써 이를 인식하고 상관관계를 추론하고 이로부터 열화상태를 평가하기 위해서는 빅데이터 처리기술이 필요함



[그림 1.8] 빅데이터분석 기반 철도부품의 자가진단 및 예측 기술 개념도

(2) 주요 연구내용

- 차체/대차 외관 상태 평가 자가진단 및 예측기술
 - 패턴인식 및 머신러닝 기술 개발

- 영상 및 열화상 복합 물리량 분석 기술 개발
- 차륜 손상 자가진단 및 예측 기술
 - 진동 및 프로파일 등 빅데이터 분석 기술 개발
 - 손상역학에 기반한 차륜 답면 손상 모델 및 기준치 개발
- 제동장치 손상 자가진단 및 예측기술
 - 제륜자 및 슈의 마모 평가 및 예측 기술 개발
 - 손상역학에 기반한 제동 디스크 손상 모델 및 기준치 개발
- 축상 베어링 손상 자가진단 및 예측기술
 - 진동 및 온도의 복합 물리량 분석 기술 개발
 - 손상역학에 기반한 베어링 손상 모델 및 기준치 개발
- 추진제어장치 손상 자가진단 및 예측기술
 - 전류, 진동 및 온도의 복합 물리량 분석 기술 개발
 - 추진제어장치 열화 모델 및 기준치 개발

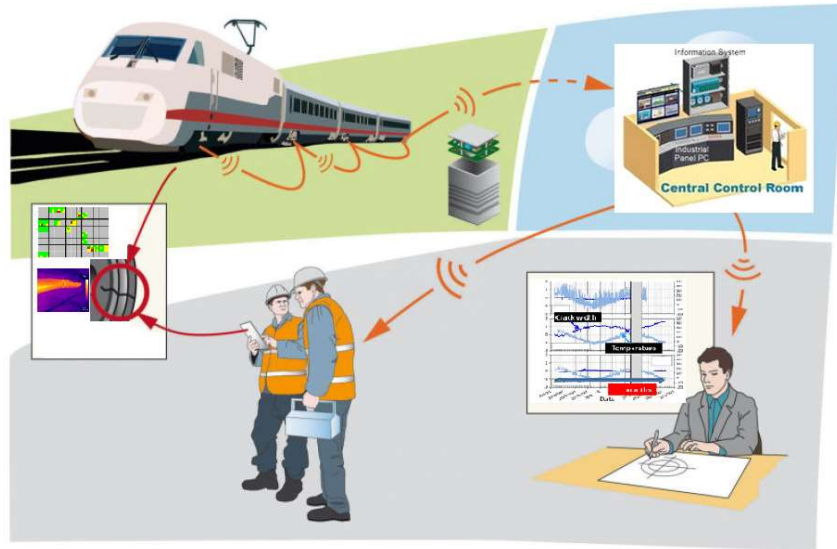
(3) 기술의 범위 및 한계

- 본 기술의 기획범위는 도시철도 및 고속철도의 주요 하부장치에 대한 검측을 목표로 하고 있으며, 세부 검측대상 및 물리량에 기술개발의 한계가 있음

라. 능동유지보수기술

(1) 기술의 개요

- 능동유지보수 기술은 차상 및 지상에서 센싱된 데이터를 기반으로 보다 유연하고 능동적으로 유지보수 시기를 결정하여 차량의 가용성 증가와 유지보수의 최적화를 추구하는 기술임
- 시간이 지남에 따라 보수 수준이 악화되어가는 유지보수 작업을 효율적이고 경제적으로 실시해 나갈 계획 수립 기법을 확립하기 위한 알고리즘, 시스템 개발 및 수명주기비용을 최소화하기 위한 유지보수 계획의 수립 및 이를 지원하기 위한 시스템 개발이 필요함



[그림 1.9] 차량의 능동 유지보수 기술 개념도

(2) 주요 연구내용

- 일상/월상 유지보수 스케줄링 기술(비용/시간)
 - 센싱 데이터 기반 부품의 교체시기 평가
 - 주요장치의 기능저하 예측 및 유지보수 평가
 - 빅데이터기반 상태진단을 통한 유지보수 최적화 기술
- 차량상태 열화과정 분석을 위한 히트맵(heat map) 기술
 - 주요장치의 위험도를 기반으로 한 히트맵(heat map) 기술
 - 차량상태 진단결과 가시화 기술
 - 장비의 신뢰성을 고려하기 위한 열화탐상도 기반 결함 위험도 분석 기술
- 모바일기반 유지보수 지원시스템 기술
 - 모바일 기반 유지보수 판단/조치 기술
 - 가상시뮬레이션 기반 고장진단 및 대응 현시
 - 자동화 장비를 고려한 체계(안) 도출
 - 모바일 연계 능동유지보수 지원시스템 기술

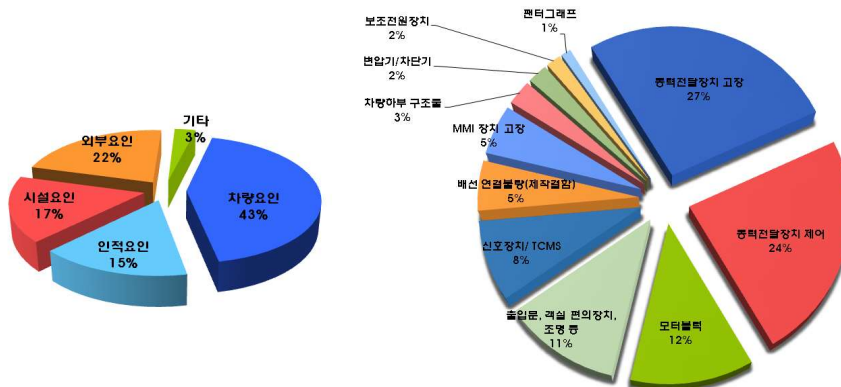
(3) 기술의 범위 및 한계

- 본 기술의 기획범위는 도시철도 차량기지의 경정비 검수를 대상으로 하고 있으며, 중정비의 경우에는 자동화의 한계가 있기 때문에 기획 대상에서 제외됨.

2절 기술개발의 필요성

1. 철도차량 유지보수 고도화의 필요성

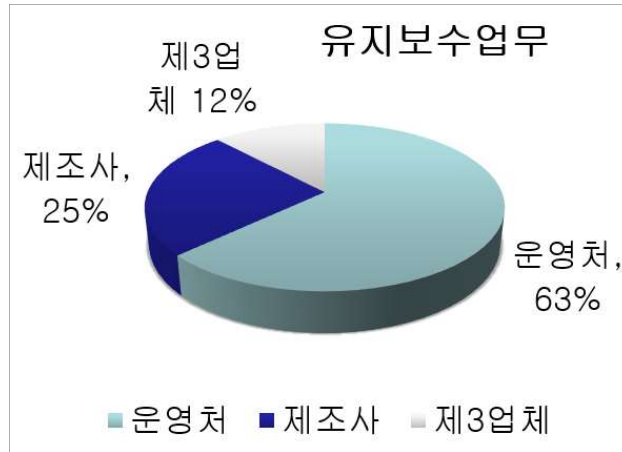
- 철도차량은 대표적인 장수명 이동수단의 하나로써 설계수명이 통상 25년 정도이나, 이를 초과하여 운행하는 사례는 쉽게 찾아볼 수 있으며, 국내 도시철도 철도차량의 경우 노후전동차가 차지하는 비율이 점차 높아지고 있음
- 고속철도는 국내에 도입된지 10여년 이상을 운행하면서 점차 노후화되고 있음. 아래 그림과 같이 운행지연 5분 이상을 야기한 전체 사고/장애 요인들 중 차량요인이 절반에 가까운 43%이며, 이 중 동력전달장치 고장과 동력전달장치 제어, 즉 동력전달부에서 이상이 발생한 비율이 거의 절반인 51%로 모터블럭 12%를 포함하면 2/3에 가까움. 열차주행 중 측정한 데이터를 지속적으로 관리하여 주요부 부품들의 측측데이터 추적을 통해 고장 가능성 있는 부품을 사전에 검출함으로써 사고/장애 빈도를 낮출 필요가 있음
- 운행 차량 중에 일반철도 및 도시철도는 노화된 차량이 많아짐에 따라서 유지보수시간 및 비용이 증가하고 있음. 또한, 철도이용객의 불편과 직결되는 고속철도 및 일반철도의 장애건수는 2010년 각각 90, 177건에서 2014년 46, 148건으로 줄어들었으나, 도시철도의 경우에는 48건에서 85건으로 증가하여 이에 대한 대책이 필요한 상태임
- 철도시스템의 고도화는 승객과 열차의 신뢰성과 안전성에 대한 절대적인 향상을 요구하고 있으며, 이에 따른 철도차량 유지보수 비용의 증가는 또 다른 문제점으로 대두되고 있음. 따라서 시스템 고속화에 따른 신뢰성 및 안전성 향상과 유지보수 비용 절감이라는 두 가지 측면을 모두 충족시키기 위한 새로운 기술개발 노력이 필요하며, 이를 위해 철도차량 유지보수 고도화가 이루어져야 함



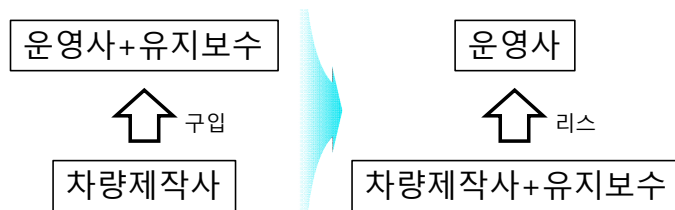
KTX 사고/장애 원인 비율 KTX 차량요인의 원인 비율
 [그림 1.10] 운행지연 5분 이상을 야기한 KTX 사고/장애 원인

것으로 예측되며 이를 선점할 수 있는 기술이 필요함.

※ 철도차량 유지보수는 운영처에서 63%, 제조사 25% 및 제 3의 업체에서 12% 수행되고 있으나, 점차 운영처에서 수행되던 유지보수업무가 제조사 및 제 3의 업체에서 수행되는 방향으로 전환되고 있음(출처: Rail vehicle maintenance-Global market trends in after-sales service, SCI 보고서)



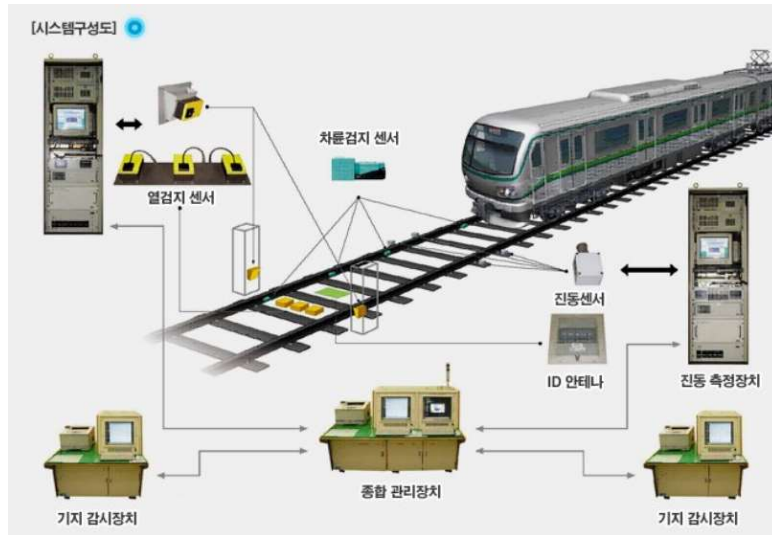
[그림 1.12] 유지보수 주체 현황



[그림 1.13] 철도마켓의 진화 대응

3. 기술발전 및 스마트 유지보수의 필요성

- 철도 자동화 장비의 대부분이 국외에서 개발된 장비로 장애 및 고장발생시 신속히 대응하지 못하여, 장비의 활용도가 떨어지고 있음. 국내 철도자동화 장비는 한국철도기술연구원, (주)우진산전, 샬롬엔지니어링(주), (주) 에코마이스터 등에서 일부 개발된 바 있으나 아직까지 해외경쟁력을 확보하기에는 부족한 실정임
- 철도차량의 입·출차 검사 및 일상검사, 월상검사의 경우 인력 작업량이 많이 소요되어 전체 검수 인력 작업량의 약 50% 를 차지함. 이를 단축하기 위한 장비들이 개발되어 현장에 배치되었으나 성능부족, 신뢰도 부족 등의 이유로 활용도가 떨어짐



[그림 1.14] 일상검지장치 개념도(우진산전)



[그림 1.15] 차륜형상측정장치(살롬엔지니어링)

[표 1.3] 상태검사장비 등 중요장비 성능 현황

연번	장비명	검 사 대 상	문 제 점	도입가격 (백만원)	핵심기술
1	일상검사장치	전동차 판타그래프 육상장치 감시 차륜 상태감시 및 측정	신뢰도, 분해능 성능 미흡	1,185	센싱/신호처리 기술
2	이상검지 장치	차륜진동상태 감시 차축발열 상태 감시	신뢰도, 분해능 성능 미흡	2,973	센싱/신호처리 기술
3	자분탐상기	밀착연결기, 볼스터 행거 트랜스폼파이프 용접부 등	신뢰도, 분해능 성능 미흡 (검사시간 과다소요)	83	전처리 센딩기술, 자기장형성 기술
4	차륜전삭기	정비작업 지원	삭정시간 과다소요 (1축 기준 약 1시간 30분 소요)	1,340	정밀가공 기술
5	차체세척기	정비작업 지원	차체 손상발생 및 세척성능 저하	279	센싱/모션제어 기술

연번	장비명	검 사 대 상	문 제 점	도입가격 (백만원)	핵심기술
6	자동검사장치	철도차량 중수선 및 고장 발생시 시험용	신뢰도, 분해능 성능 미흡 및 검사시간 과다소요	3,400	센싱/신호제어 기술
11	초음파탐상기	차축	신뢰도, 분해능 성능 미흡 (검사시간 과다소요)	779	초음파 탐촉자 기술

- 첨단 IoT·ICT 기술 융합을 통하여 총 수명주기 관점에서 철도시스템의 획기적인 비용 절감 및 지능화 필요하며, 스마트 철도 시장은 연평균 약 14.4% 성장하여 '21년 약 206억 달러(23.7조) 규모로 성장할 것으로 예측됨
- 중국의 저가공세와 철도 선진국의 기술력에 밀려 존재의 위기에 있는 철도산업의 해외 진출을 위해서는 정부가 주도하여 첨단 IoT 기술을 적용한 지능형 철도차량 자가진단 및 능동대응 시스템 개발이 시급함
- 첨단 IoT 기술을 적용한 지능형 철도차량 자가진단 및 능동대응 기술을 개발하여 열차의 대용량·고밀도·고속화에 따른 고도의 안전을 확보하고, 전 생애주기 비용을 절감하며, 철도산업의 해외 진출에 선도적 기술을 갖춰 유리하게 대응할 필요가 있음
- 철도차량의 노후화 및 외주화에 따른 차량정비의 부실화 가능성을 첨단 산업기술(IoT, ICT, Machine learning, AR 등)을 이용하여 차단할 필요가 있음
- 첨단 산업기술의 발전으로 과거에는 인력에 의존하던 작업이 자동화된 센서에 의해 가능하게 되었으며, 장기적인 모니터링을 통하여 상태기반유지보수(CBM) 및 지능형 진단이 가능하므로 인력에 의존한 일상, 월상검사주기의 연장을 위해 지능형 센서기반 자가진단 및 대응기술의 개발이 필요함

4. 기술 미개발시의 예상되는 문제점 및 대응방안

가. 예상 문제점

- 도시철도의 경우 승객 및 운행밀도의 증가와 노후전동차의 증가로 인해 장애건수 증가하는 추세임. 20년 이상 경과한 도시철도차량이 4,835대로 전체의 약 21% 차지를 차지하며, 25년 경과한 차량도 671대가 현재 운행함에 따라서 유지보수시간 및 비용의 증가와 차량의 노후화에 따른 운행장애가 많이 발생하고 있으며, 이러한 추세는 가속화될 것으로 전망됨

머나먼 스크린도어와 늙은 지하철의 탄생

[CBS노컷뉴스 김구연 기자]

하루 평균 승객 700만명이 이용하는 '시민의 발' 서울 지하철과 관련한 사고가 끊이지 않고 있다.

지난해 지하철 2호선 구의역 사고와 5호선 김포공항역 사고 등 잇따르는 사고 이후 안전 문제가 도마 위에 올랐지만 여전히 총체적 난국에서 벗어나지 못하는 실정이다.

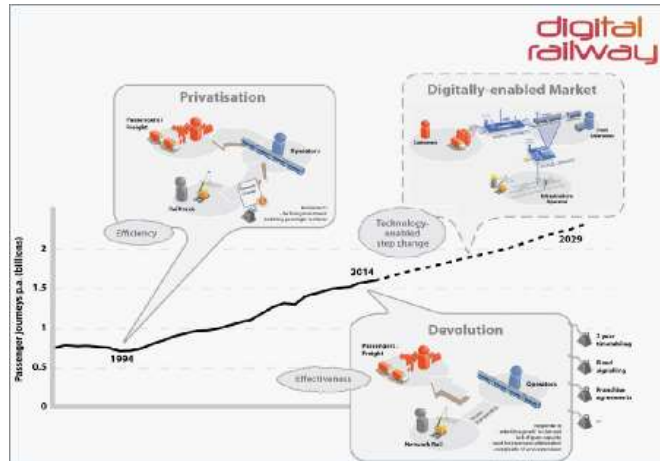
[그림 1.16] 도시철도차량의 노후화에 대한 기사

- 철도정비의 외주화, 노령화 및 4D(difficult, dangerous, dirty, dull)작업 기피현상으로 인하여 비숙련자에 의한 정비가 이루어질 가능성이 있으며, 사고발생시 책임소재가 불분명하고 정비의 부실화 가능성이 있음. 전동차의 경우 경비절감을 위해 경정비 및 중정비까지 외주화 수행하고 있으며, '14년 철도사고 및 장애 발생건수는 전체 554건 중 차량요인(190건) 및 인적요인(25건)이 약 38.8%에 달함. 이와 같이 젊은 청년들의 4D 작업 기피성향에 따라 향후 전문인력 부족이 예측됨



[그림 1.17] 도시철도차량의 정비작업

- 첨단 IoT·ICT 기술을 융합한 모니터링 및 진단기술 미개발시 국내기술은 수작업에 의존하는 오래된 기술로 인식되며, 이로 인하여 국외 마케팅 경쟁력 저하, 선진국에 대한 첨단 유지보수기술 및 유지보수장비의 종속화, 관련기술 경쟁력 저하, 관련분야 해외 시장 진출 불가 등의 문제점이 발생될 것으로 예상



[그림 1.18] ICT 기술을 융합한 철도기술발달

나. 대응방안

- 첨단 IoT 장치 및 센싱기술을 기반으로 하여 수작업에 의존하고 있는 기존의 정비체계를 자동화 함으로써 인력에 대한 의존도를 장기적으로 낮추어야 함
- 현재 차량에서 운행되고 있는 TCMS 기능을 강화하여 상태진단에 필요한 정보를 확보해야 함
- 자동화 장비로부터 측정된 데이터의 신뢰도를 고려할 수 있도록 개편을 통하여 자동화 장비의 장착 도모
- 현재 정비인력 부족으로 인하여 상세하게 수행하지 못하는 출차검사 등에 활용할 수 있는 특화기술 개발
- 철도차량 유지보수는 시간기반 유지보수(TBM)에서 상태기반 유지보수(CBM)로 패러다임이 변화되고 있으며, 상태기반 유지보수를 수행하기 위하여는 IT기술을 적극 활용한 차량 상태 모니터링 및 유지보수 자동화 등을 우선적으로 개발
- 상태기반 유지보수(CBM)는 모든 관련 시스템이 구축 되었다고 할지라도 바로 수행되기는 어려우며, 장기간 데이터 확보와 데이터와 상태와의 상관성 분석, 상태 진단기술 개발 등의 관련 연구가 단계적으로 이루어져야 함

제2장 국내외 동향 및 환경분석

1절 국내외 정책동향

1. 국내 정책동향

가. 현 정부 국정운영 5개년 계획 (2017)

(가) 개요

- 국정운영 5개년 계획은 문재인정부 국정운영의 최상위 계획으로써 향후 문재인정부의 세부 정책을 수립하고 정책집행, 정책평가 및 환류의 기준을 제시함
 - 변화된 패러다임에 맞추어 각 부문별 국가정책의 기본방향을 설계하였고, 이를 실현하기 위한 20개 국정전략과 287개 실천과제를 제시함
 - 정책 집행 단계에서 목표와의 정합성과 일관성을 유지하고, 새롭게 수립되는 정책들이 정부의 지향에 부합하도록 하여 국정운영의 연속성을 확보하고자 함

(나) 철도 유지관리 관련 정책

- ‘서민과 중산층을 위한 민생경제’ 과제에서는 국가기간교통망 공공성 강화 및 국토교통산업 경쟁력 강화를 목표로 하며, 노후 인프라 개선 및 SOC안전강화를 추구함
 - 교통의 공공성을 단계적으로 강화하고 노후 인프라를 개선함
 - SOC 안전 강화를 위해 `17년 노후 철도차량/신설 개선을 위한 중장기 개량 계획을 수립하고 성능 기반의 철도시설 관리체계를 마련함

- ‘과학기술 발전이 선도하는 4차 산업혁명’ 과제에서는 고부가가치 창출 미래형 신산업 발굴 및 육성을 목표로 하고 첨단기술의 융복합을 통한 신산업을 창출 및 시장선점을 지원할 계획임
 - ICT, 서비스 등의 융합을 통해 미래형 신산업을 육성함
 - (첨단기술 산업) 융복합 추진전략을 마련함
 - (첨단기술 산업) 반도체, 디스플레이, 탄소사업 등 4차 산업혁명 대응에 필요한 첨단 신소재/부품을 개발함
 - 지능형 로봇, 3D 프린팅, AR, VR, IoT, 스마트 선박, 나노, 바이오, 항공, 우주 등 첨단기술 산업 육성을 위해 R&D 및 실증/인프라 구축을 지원함
 - 신사업 분야의 핵심 원천기술을 확보하여 시장을 선점함

나. 국토교통 연구개발 중장기전략(`14~`23)

- 국토교통부는 2014년 7월 “국토교통 기술을 통한 국민행복 및 국제적 가치 창조”라는 목표 아래 국토교통 연구개발 중장기전략(‘14~23)을 발표하였고, 미래가치 창출을 위한 10대 중점프로젝트를 발굴·제시하였으며, 이중에 “스마트 철도교통시스템”을 추진.

- “스마트 철도교통 시스템”은 도시 간, 도시 내 생활교통수단으로서 수송성·정시성 및 친환경성이 뛰어난 철도교통시스템의 안전성·경제성 및 효율성을 제고하기 위한 제반 기술을 확보하는 것으로 다음과 같은 방향을 제시함.
 - 430km/h급 고속열차의 실용화 이후 미래 지향적인 전자식 궤도방식의 초고속 자기부상 핵심기술 개발
 - 철도차량 및 인프라 상태를 자동으로 실시간 모니터링, 진단 및 유지보수 기술을 개발하여 안전사고 예방
 - 철도 에너지 절감, 인프라 성능 대비 건설·운영비 최적화 기술 및 철도운영 효율화 기술 등 개발
- 2040 국토교통 200대 미래 유망기술에는 철도차량의 모니터링 및 유지보수 자동화에 대한 기술이 포함되어 있음.
 - 연중 무사고/무재해 운영을 위한 실시간 철도사고 예측/안전 모니터링 시스템
 - 철도차량, 인프라의 자동진단을 통해 무인운전을 위한 인공지능형 종합관제시스템
 - 자원과 비용을 최소화 하는 고효율 생애주기 철도운영/유지보수 시스템
 - 철도차량 기지공간을 1/10로 축소한 유지보수 정비부지 조성 및 운영 자동화

다. 제3차 국가 교통기술 개발계획(`14~`18)

- 제3차 국가교통기술개발계획은 국가통합교통체계효율화법에 의거 향후 5년(`14~`18)간 교통기술의 연구개발을 촉진하기 위한 정부의 교통기술 관련 정책을 종합화하고 체계화 하는 법정계획임.
- 철도교통 기술의 문제점을 외국의존기술의 심화, 고부가가치 원천기술 확보노력 미흡, 철도유지관리를 위한 검측기술 수입의존으로 꼽고 있음
 - 외국기술 의존 심화, 고장원인 분석과 해결지연으로 인한 운행 차질 초래 등 장기적인 관점에서 철도의 안정성 확보를 위한 근본적인 기술개발 미흡
 - 다양한 열차시스템에 활용할 수 있고 나아가 타 산업에 확대 적용이 가능한 고부가가치 원천기술 확보 노력 미흡
 - 철도 유지관리를 위한 검측시스템 기술을 전량 수입에 의존하고 있는 실정이므로 유지보수 기간이 길어지고, 비용 과다소요
- 중점 추진과제로써 “빠르고 지능적인 철도”, “안전하고 편리한 철도”, “정확하고 경제적인 철도”로 구분하고 있음.
 - 지능형 자가진단기반 능동제어 기술은 제4차 산업혁명으로 발전된 기술인 인공지능, 빅데이터 및 IoT 센서를 이용하여 유지보수를 효율화하기 위한 과제로써 ‘정확하고 경제적인 철도’에서 철도운영 및 유지관리 기술개발에 부합되고 있음.

빠르고 지능적인 철도 (SMART Railroad)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 대용량 고속화 철도기술개발 ▪ ICT 기반 철도시스템 개발 ▪ 신교통시스템 기술개발
안전하고 편리한 철도 (SAFE Railroad)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 사고 예방 및 복구 기술 ▪ 철도 안전 및 인증체계 구축 ▪ 이용 편의성 및 쾌적성 향상기술
정확하고 경제적인 철도 (ECONOMICAL Railroad)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 철도 핵심부품 기술개발 ▪ 철도 운영 및 유지관리 기술개발 ▪ 철도 건설비 및 환경비용 저감 기술개발

[그림 2.1] 철도기술부분 중점 추진분야

라. 제3차 국가철도망 구축계획(`16~`25)

- 철도투자를 효율적 및 체계적으로 수행하기 위하여 중장기 국가철도구축계획을 수립하고 있으며, 고속철도·일반철도·광역철도 건설을 2016년에서 2025년까지 계획을 수립함.
- 구축계획의 주요내용으로는 철도의 중장기 건설계획, 다른 교통수단과의 연계교통체계 구축, 소요재의 조달방안 및 환경친화적인 철도 건설방안으로 구성함.
 - 영업거리는 3,729km에서 5,364km(144%↑)로, 전철화 연장은 2,595km에서 4,421km(170%↑)로 대폭 제고
 - 철도 수송분담률이 14.7%에서 5%pt 수준(약 20%) 증대

[표 2.1] 철도주요지표 변화

구분	2014 (A)	2026 (B)	비고 (B/A)
영업거리 (km)	3,729	5,364	144%
복선화율 (%)	2,147(58%)	3,813(71%)	178%
전철화율 (%)	2,595(70%)	4,421(82%)	170%

* 제3차 국가철도망 구축계획내 사업 완료시 3,729km→ 6,133km(164%↑)

- 구축계획에서는 미래철도의 역할을 수송분담률 증가, 시간단축 및 안전확보 등으로 규정하고 있음.

- 철도 운영 효율성을 확보를 통한 수송분담률을 선진국 수준으로 증가
- 새로운 기후체제 등에 대비한 온실가스 감축과 교통비용 감축을 위한 철도의 주도적 역할 수행
- 국민의 요구수준에 맞는 안전 확보와 이용 편리성 제고
- 노후 철도시설 개량, 열차운행 안전성 강화, 철도이용 편의시설 확충 등 필요
- 통일·유라시아 시대를 대비하여 남북철도 연결, 대륙철도(TSR, TCR 등)의 연계 추진

마. 국토교통 연구개발 사업 개편(‘18 ~ ‘23)

- 고부가가치 철도차량 기술개발(‘18~‘22)
 - 목표 : 비용대비 효율적 고성능 친환경 철도차량 기술 확보
 - 추진분야
 - 신재생에너지 적용 철도차량 개발 : 신재생에너지 철도차량 추진·제어 핵심기술 5건 이상 확보
 - 에너지 효율향상 기술 : 철도차량 운전 에너지 효율 10% 향상, 철도차량 량당 무게 15% 절감
 - 여객편의 향상 기술 : 승차감 향상을 위해 동일차종 대비 소음 3dB, 진동 3dB 저감, 공기질 개선을 위한 초미세먼지(PM2.5) 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 저감
- 철도유지·관리 자동화 기술개발(‘18~‘23)
 - 목표 : 상태기반의 유지·관리 자동화를 통한 철도시스템 유지보수 효율화 및 안전성 향상
 - 추진분야
 - 능동형 유지보수 기술 : 철도차량 및 시설물의 유지보수 첨단화를 통한 진단평가 소요 시간 20% 단축
 - 사고복구대응 기술 : 철도사고 및 운행장애 복구시간 20% 감축
- 고성능·저비용 철도인프라 구축기술 개발(‘18~‘22)
 - 목표 : 정책실현을 위한 ICT를 활용한 비용 효과적인 철도망 구축기술 및 철도인프라 신기술 확보
 - 추진분야
 - 저비용 궤도/노반 구축 및 개량 기술개발 : 궤도/노반 구축비용(LCC포함) 5% 절감 기술 확보, 기존대비 궤도/노반 개량 비용(LCC포함) 10% 절감 기술 확보
 - 고효율 전력공급 네트워크 기술 : 고효율 전력공급을 통한 전력공급 손실 10% 저감
 - ICT기반 철도신호제어 시스템 개발 : 무궤도회로 기반 무선통신 열차제어 기술개발을 통한 일반/고속철도 운행 시격 30% 단축

- 철도부품·장치 자립화 기술개발('18~'24)
 - 목표 : 주요 부품장치 국산화 및 실용화 문턱 해소를 통한 철도산업 활성화
 - 철도부품 설계·제작·성능 검증 기술 : 철도부품·장치 수입대체를 통한 매출액 70억원
 - 철도부품·장치 실용화 문턱지원 : 철도부품·장치의 상용화율 50% 달성

바. 국내 철도유지보수 정책 동향

- 제3차 국가교통기술개발계획('14~'18)
 - 국가통합교통체계효율화법에 의거 향후 5년('14~'18)간 교통기술의 연구개발을 촉진
 - 열차운행 100만km당 사고건수 10% 저감을 목표로 정확하고 경제적인 철도를 위한 철도운영 및 유지관리 기술개발 추진.
- 국토교통 연구개발 중장기 전략('14-'23)
 - 미래가치 창출을 위한 10대 중점프로젝트를 발굴·제시하였으며, 이중에 “스마트 철도교통시스템”을 추진
 - 철도교통시스템의 안전성 및 경제성을 위한 기술로 “철도차량 및 인프라 상태를 자동으로 실시간 모니터링, 진단 및 유지보수를 하기 위한 기술을 개발하여 안전사고를 예방할 수 있는 기술” 추진
- 제3차 철도안전종합계획('16 ~'20) : 철도차량 정비제도 선진화
 - 차량고장으로 인한 장애증가로 안전위협, 운행지연 등 사회적 경제적 손실증가와 단순한 차량고장이 사고로 연결될 우려 증가.
 - 철도차량의 선진유지보수 체계 수립 및 시행
 - 기관별 차량 특성에 따른 예방정비체계 구축과 정보시스템 운영
 - 철도차량의 유지보수 장비 현대화 및 검수시설 보강
 - 기관별 차량 특성에 따른 예방정비체계 구축과 정보시스템 운영
- 철도차량 유지보수에 스마트팩토리 솔루션 적용
 - 코레일은 철도차량 유지보수의 생산성과 품질 향상을 위해 제조업의 스마트팩토리 혁신 개념을 철도차량 유지보수에 적용
 - 스마트팩토리가 도입되면 철도차량, 대차 등의 수작업 도장 및 세척 업무가 로봇 자동화로 대체되고 차축베어링, 트리포드 등의 유지보수 작업장이 연속공정 방식으로 개선. 또한 첨단 차륜초음파탐상설비 등 시험설비를 확대 도입해 정비 생산성 향상과 품질 고도화도 추진.

2. 국외 정책동향

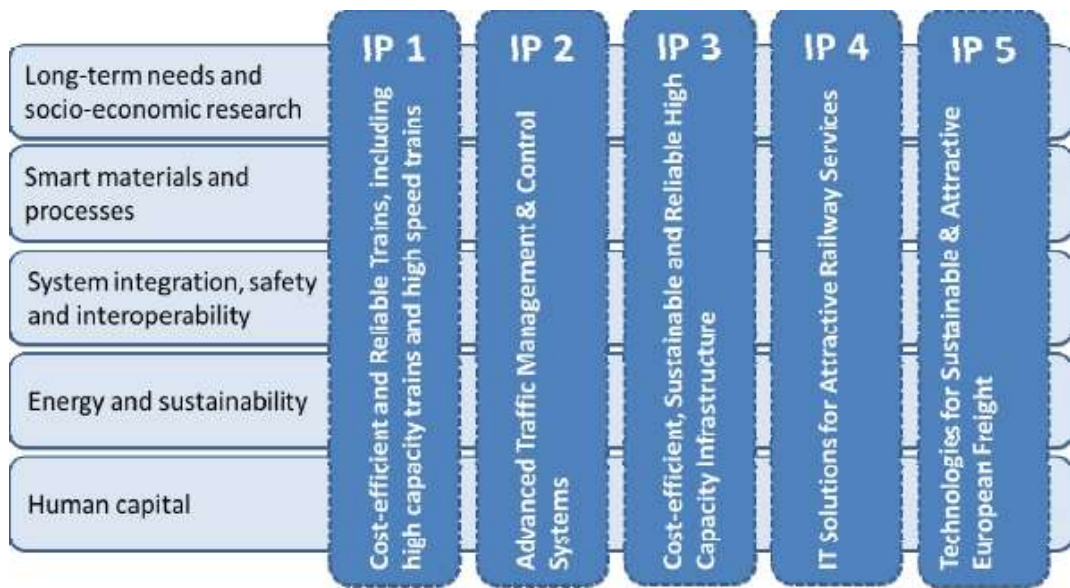
가. 유럽 (EU, European Union)

- 유럽에서는 철도의 안전성 제고를 위한 운영 및 유지보수 부분의 신기술 개발에 노력하고 있음.
 - 안전 및 건강에 대한 니즈 확대에 인하여 이를 충족시켜 줄 수 있는 철도기술개발에 대한 요구가 증대하고 있음. 새로운 철도 재료 및 모니터링 시스템 개발, 철도 유지보수를 위한 IT 기반 확충 및 관련 기술개발, 유지보수 기계에 대한 신기술 개발, 센서개발 등이 추진되고 있음.
 - 철도시스템의 유지관리 기준 및 공법에 대하여 신뢰성 중심의 유지보수에 대한 연구가 진행되었으며, 각국이 유지보수 기준을 보유
 - 유럽 연합을 중심으로 신뢰성 중심 유지보수(RCM)에 대한 연구를 수행, 신뢰성 및 최적화 이론을 유지보수주기 및 예비품 소요량 산정에 적용하는 연구를 수행하여 적용
 - 이탈리아의 Circumviana Railway는 유지보수 전산통합관리체계를 도입하여 전동차 전주기 비용의 60%에 해당하는 유지보수 비용을 10% 절감하고 전동차의 신뢰성 및 가용도를 향상
- 모니터링 시스템의 개발 및 적용을 통해 철도시스템의 유지보수 비용 절감과 안정성 확보를 추구
 - 스위스의 ABB사는 RE0517을 개발하여 전차선, 조가선 및 전력설비의 보호 및 모니터링 기능을 포함하는 시설분야 모니터링 시스템을 개발하고, 네트워크 기반 모니터링 시스템 기술개발을 추진.
 - 영국 런던에서는 차륜의 상태를 모니터링하는 시스템을 구축하여 운용 중에 있으며, 적외선 센서를 철도차량 하부에 설치하여 온도를 측정하고 온도 임계치가 넘어가면 베어링의 마모를 인식하여 알려줌으로써 철도차량의 탈선사고를 예방
- TEN-T(Trans-European Transport Network) 정책
 - 교통부문의 균형있는 발전과 회원국간의 통합을 위한 철도중심의 범유럽 교통네트워크계획 수립
 - 신뢰성 높은 유럽 통합철도시스템 구축을 위한 관리측면 강조(유지보수, 안전 측면)
 - 궤도/하부구조물의 고효율 고속 상태모니터링시스템(2004-2008)
 - 철도 휠셋 검사시스템(2008-2011), 휠셋 통합 설계 및 효율 관리(2005-2007)
 - 유지보수 효율화 자동화(2010-2013), 철도 인프라의 스마트유지보수(2011-2014), 선로변 작업자 자동경보시스템(2010-2012)

- 유럽의 ERRAC “Strategic Rail Research Agenda 2020 & Roadmap 2050
 - 효율적인 도시교통, 끊김 없고 통합된 고속여객 서비스, door-to-door 화물 서비스 제공을 통한 유럽교통시스템에서의 철도 역할 증대
 - 차량, 유지보수 절차, 발권시스템, 인프라 등 철도 운영 전반에 대한 현대적 기술의 접목을 통한 제품의 고객 선호도 개선과 수명주기비용 절감 달성 등 철도 경쟁력 제고
 - 차량 궤도 안정성 향상을 위한 고효율 유지보수 및 공동 운영이 가능한 유지보수프리 개념의 인프라 개발

- 유럽은 철도 중심의 교통정책을 수립하고, 철도 차량의 고속화·경량화·대용량화, 신호 및 제어기술 고도화 등 추진
 - '88년에 이미 400km/h급 고속철도를 운영한 독일이 세계 최고 기술국이며, 프랑스도 비슷한 상대 기술수준(98.2%) 보유

- Shift2Rail를 통하여 신뢰성 있는 차세대 고용량 차량개발, 지능형 교통 제어시스템개발, 혁신적인 IT 솔루션 결합 등을 목표로 과제 수행 중에 있음



[그림 2.2] Shift2Rail의 중점 추진분야

나. 중국

- “2020 중장기 철도 네트워크 구축 계획”에 따라 속도향상 프로젝트를 적극 추진하고, 중국 철도차량 회사(CSR, CNR)의 세계시장 진출 확대를 위해 철도 기술개발 속도향상 추진

- 철도망 배치의 합리화, 기술장비의 선진화, 경영효율 증가 등을 목표로 설정하여 철도정

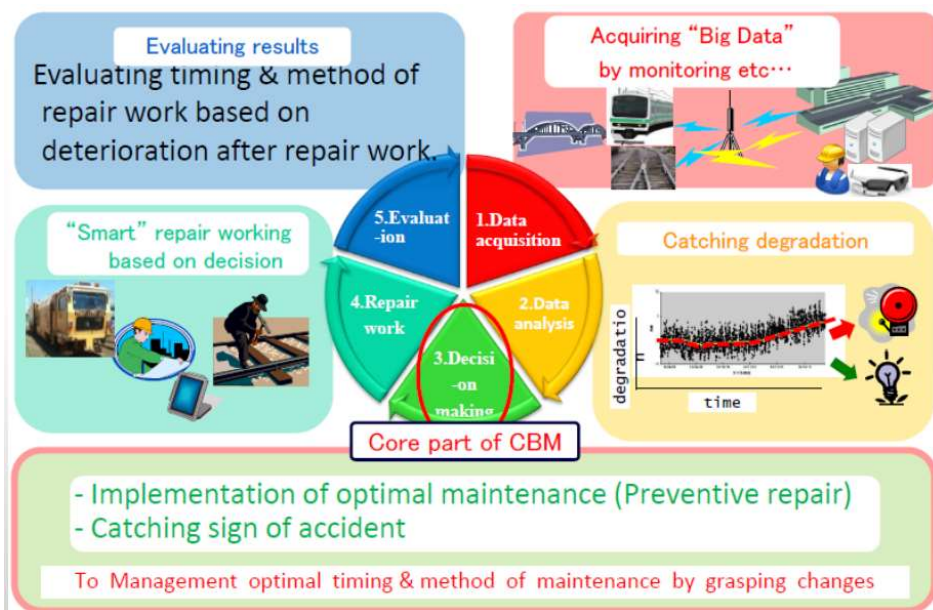
책 추진

- 고속철도, 간선철도, 석탄운송통로, 서부철도 등 철도망 배치의 합리화 계획 수립
 - 동북, 서북, 서남 등 출경철도(국경을 넘는 국제철도)를 건설하고 1, 2, 3 유라시아 대륙교를 건설하여 국제통로 건설강화, 인접국가와의 연계 실현 계획 수립
 - 시장수요에 따른 철도서비스 능력의 확대와 서비스 수준 제고를 중심으로 철도 다원화 경영을 추진, 경영효율 증대
- 20년까지 12만km 이상의 철도연장을 계획하고 복선화율 50%이상, 전철화율 60%이상을 목표로 철도망 구축
- 4종 4형 여객전용선 계획과 주요 도시 간 여객전용선 구축 추진, 고속철도 및 쾌속철도망 건설
 - 40년까지 전국 주요성시구를 연결하는 5종 6획 8연결의 중단기 계획, 2070~2100까지 8종의 고속철도망 장기 계획 수립
- 중국정부가 추진 중인 일대일로 전략과 철도 해외진출 등에 따라 철도 설비 수출 및 철도 관련 유지·보수, 수리, 안전 운영, 검사 등 수요 증가
- 15년 중국 철도 차량 투자 금액은 약 1,200억 위안(국가통계국 통계)이며 이중 약 25%가 철도 차량 유지·보수 등에 이용된다고 가정할 경우, 철도 유지·보수 시장이 최소 300억 위안에 달할 것으로 분석.
 - 해외 시장의 경우, 철도 해외진출 사업은 주로 철도 설비, 철도 차량 수출 위주로 진행되고 있으나, 철도 설비, 차량 수출과 동시에 관련 서비스를 제공하는 원스톱 수출 비중은 상대적으로 적은 편이기 때문에 해외 시장 전망이 매우 밝다고 분석, 철도차량 유지보수는 중국의 철도차량 제작회사인 CNR이 가장 큰 점유를 하고 있음

다. 일본

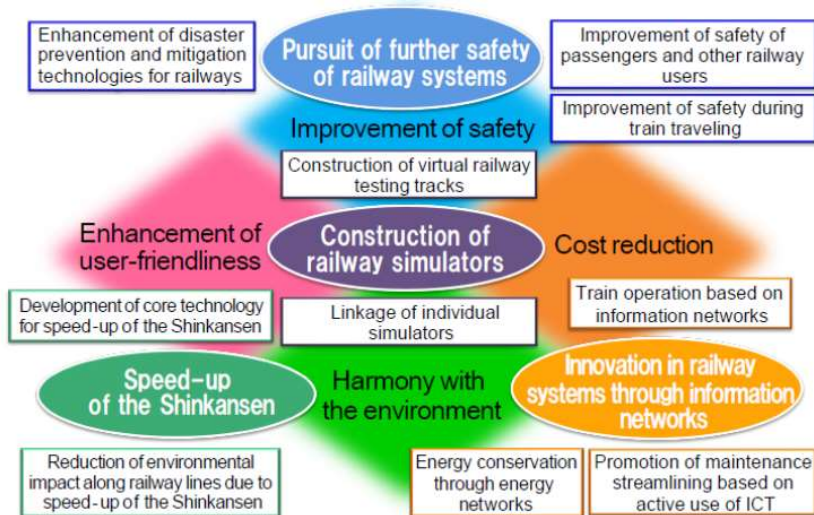
- 국민생활에 필요한 교통, 지역 및 국제 교통네트워크 구축, 지속 가능하고 안전한 교통 시설 정비에 중점을 둔 철도 정책을 수립
- 지자체 중심의 압축형 도시 정비와 연계한 지역 교통네트워크 재구축
 - 국제공항과의 연결로 국제교통 네트워크의 경쟁력 확보
 - 일본 내 기술과 경험을 통해 교통인프라 서비스 해외 진출
 - 터널, 교량 등 보강을 통해 대형재해와 노후화 대비
 - 저탄소화 및 에너지 절약을 통한 환경대책 추진
- 도시철도 주요구간 중 평균 혼잡률을 '15년 150% 이하, 개별노선의 경우 180% 이하로 개선

- 기존노선 복복선화, 평면건널목 입체화, 신호 보안시설 개량 및 운행차량의 증편 등으로 혼잡완화
 - 상호직통연결 운행 노선 확대, 추월선로설치 등으로 이용시간 단축
- 신칸센 정비와 재래선의 고속화 추진으로 경쟁력 확보
- 고속철도를 중심으로 한 철도교통망 정비 지속 추진
 - 15년까지 5대 도시권(도쿄, 나고야, 오사카, 삿포로, 후쿠오카)을 3시간대 연결
 - 일본 3대 도시(도쿄, 오사카, 나고야)를 연결하는 초고속 자기부상철도 계획중
- JR에서는 차량 모니터링과 상태기반유지보수(CBM)을 바탕으로 하는 스마트 유지보수를 진행중에 있으며 5가지 요소로 구분하고 있음. 다양한 센서를 통한 차량상태 모니터링, 모니터링 빅 데이터를 분석하고 열화모델을 개발하여 적용, 의사결정, 수리 및 평가 등으로 구분함.



[그림 2.3] 일본의 상태기반유지보수에 기초한 스마트 유지보수

- 일본철도연구소(RTRI)에서는 2020년까지 연구개발 계획 설정('15-'20)
- 연구개발 목표 : 안정성향상, 비용절감, 환경과의 조화, 편리성 증대
 - 유지보수효율성 증대를 위한 ICT 기술을 활용하는 과제 수행
 - 철도차량 상태 모니터링을 위한 분산형 자가시스템 개발
 - 구조물 변형 진단을 위한 이미지 처리 및 검사 기술



[그림 2.4] 일본철도연구소의 목표 및 비전

3. 국내외 정책동향 분석 시사점

- 국내외 철도기술관련 정책은 첨단 기술을 접목하여 더 안전하고 편리한 철도시스템을 구축하려는 방향으로 투자가 진행되고 있음.
 - 국토교통연구개발 발전계획에서는 “스마트 철도시스템”을 통하여 철도차량 및 인프라의 자동진단 및 유지보수하는 기술을 구현하고자 함.
 - 국토교통 미래기술에는 첨단 IT, 인공지능을 이용한 철도사고 모니터링 시스템, 인공지능형 관제시스템의 기술개발을 추진하고 있음.
 - 국가교통기술개발 계획에서는 중점 추진과제로써 빠르고 지능적인 철도를 위하여 ICT 기반 철도시스템 개발을 추진하고 있음.
- 철도선진국인 유럽을 포함한 해외에서는 ICT를 기반으로 철도 차량의 고속화·경량화·대용량화, 신호 및 제어기술 고도화 등을 추진하고 있음.
 - 유럽에서는 새로운 철도 재료 및 모니터링 시스템 개발, 철도 유지보수를 위한 IT 기반 확충 및 관련 기술개발, 유지보수 기계에 대한 신기술 개발, 센서개발 등이 추진되고 있음.
 - 신뢰성 있는 차세대 고용량 차량개발, 지능형 교통 제어시스템개발, 혁신적인 IT 솔루션 결합 등을 목표로 다양한 프로젝트를 수행 중에 있음.
 - 중국에서는 2020 중장기 철도 네트워크 구축 계획에 따라 속도향상 프로젝트를 적극 추진하고, 중국 철도차량 회사의 세계시장 진출 확대를 위해 철도 기술개발을 추진 중에 있음.
 - 일본에서는 국민생활에 필요한 교통, 지역 및 국제 교통네트워크 구축, 지속 가능하고 안전한 교통시설 정비에 중점을 둔 철도 정책을 수립하고 있으며, 신칸센 정비와 재래선의 고속화 추진을 통한 경쟁력 확보를 목표로 하고 있음 .

2절 국내외 시장현황 및 전망

1. 국내 시장현황 및 전망

가. 운영기관별 철도차량 유지관리 현황

(1) 도시철도 운영기관별 철도차량 보유현황

- ‘14년말 기준 한국철도공사 및 서울메트로, 서울도시철도공사에서 보유하고 있는 도시 철도 차량수는 각각 2,458량, 1,954량, 1,617량으로 국내 총 보유차량 7,739량의 32%, 25%, 21%를 차지함
- 운영기관별 도시철도차량은 저항제어 전동차와 초과제어 전동차, VVVF제어 전동차로 구분
 - 저항제어 전동차는 서울메트로, 한국철도공사에서 운용
 - 초과제어 전동차는 서울메트로, 부산교통공사에서 운용
 - VVVF제어 전동차는 3상 유도전동기를 구동할 수 있는 기술 및 소자가 개발됨에 따라 도시철도차량에 적용
 - 또한, 도시철도차량 서비스 기기도 데이터 통신방식, 모니터링 기술, 전자회로의 집적화 기술 등의 발전에 따라 각종 기기의 소형화, 단순화, 편리성 등의 향상으로 발전
 - 철도차량 경량화를 위하여 차체의 재질은 연강재(mild steel) 차체에서 스테인레스강 차체, 알루미늄 차체, 복합재료 차체를 적용하여 차체를 구성하고 있음

[표 2.2] 국내 도시철도차량 운영기관 전기동차 보유현황

구분		한국철도 공사	서울 메트로	서울도시 철도공사	부산교통 공사	대구도시 철도공사	인천 교통공사	대전도시 철도공사	광주도시 철도공사
차량 현황	편성		200	207	138	64	34	21	23
	량수	2,363	1,954	1,617	878	384	272	84	92
운행편성 (량)			10 (지선 4, 6)	6/8	4/6/8	6	8	4	4

(2) 운영기관별 조직현황

- 운영기관별 철도차량 유지보수 조직은 각 조직의 특성, 차량 보유량 등에 맞게 운영하고 있으며, 대부분 본사와 현업으로 조직을 분리하여 운영하고 있음

- (서울메트로) 본사조직은 차량처와 정비처의 2개 처를 운영하고 있으며, 차량처는 차량 제작과 유지보수 인력 운영, 차량기지 관리 등의 업무를 수행하고 있고, 정비처는 철도 차량운용, 고장예방활동, 유지보수용 기계장치 관리, 철도차량 유지보수 업무를 수행하고 있음
 - 현업은 5개 차량사업소 13개 팀으로 구성되어 있지만 철도차량 유지보수 업무는 8개 팀이 수행하고 있음

- (한국철도공사) 본사조직은 차량기술단에 차량계획처, 고속차량처, 일반차량처, 전동차량 처의 4개 처를 운영하고 있으며,
 - 차량계획처는 유지보수 인력 운영, 각종 발주업무 등을 수행하고, 고속차량처는 고속차 량의 제작 및 유지보수 등의 차량관리 업무를 수행하며, 일반차량처는 새마을·무궁화 등의 철도차량 제작과 유지보수 등의 차량관리 업무를 수행하고 있으며, 전동차량처는 광역차량 제작 및 유지보수 등의 차량관리 업무를 수행하고 있음
 - 현업조직은 지역본부에 12개의 차량처와 29개의 차량사업소가 철도차량 경정비 및 광 역철도차량 중정비업무를 수행하고 있으며, 3개의 철도차량정비단에서는 KTX 경정비 업무 및 철도차량 중정비업무를 수행하고 있음

- (서울도시철도공사) 본사조직은 차량처에 차량계획팀, 차량정비팀으로 구성되어 있으며, 차량계획팀은 철도차량 제작업무 및 인력운영 업무 기지시설 개선업무를 수행하고 있으 며, 차량정비팀은 철도차량운용, 고장예방 활동, 유지보수용 기계장치 관리, 철도차량 유 지보수 업무를 수행하고 있음
 - 현업은 5개 차량사업소 2개부로 구성되어 철도차량 유지보수 업무를 수행하고 있음

- (부산교통공사) 본사조직은 차량처에 검수정비부, 차량부로 구성되어 있으며, 검수정비 부는 철도차량운용, 고장예방활동, 유지보수용 기계장치 관리, 철도차량 유지보수 업무 를 수행하고 있으며, 차량부는 철도차량 제작업무 및 인력운영 업무 기지시설 개선업무 를 수행하고 있음
 - 현업은 5개 차량사업소 7개부로 구성되어 철도차량 유지보수 업무를 수행하고 있음

- (대구도시철도공사) 철도차량 유지보수 조직은 본사와 현업으로 조직을 분리하여 운영 하고 있음
 - 본사조직은 차량부가 있으며 철도차량 제작업무, 인력운영 업무, 기지시설 개선업무, 철 도차량운용, 고장예방활동, 유지보수용 기계장치 관리, 철도차량 유지보수 업무를 수행 하고 있음
 - 현업은 3개 차량사업소 4개팀으로 구성되어 철도차량 유지보수 업무를 수행하고 있음

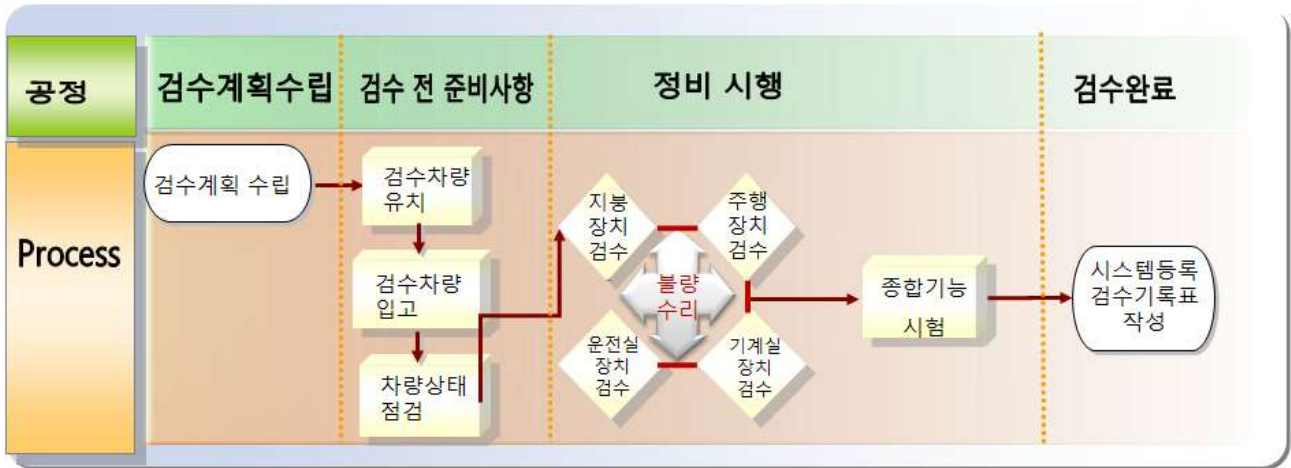
- (인천교통공사) 철도차량 유지보수 조직은 곽현차량사업소에 3개 팀이 철도차량운용, 고장예방활동, 유지보수용 기계장치 관리, 철도차량 유지보수 업무를 수행하고 있음
- (대전도시철도공사) 철도차량 유지보수 조직은 판암차량사업소에 1개 팀이 철도차량운용, 고장예방활동, 유지보수용 기계장치 관리, 철도차량 유지보수 업무를 수행하고 있음

(3) 철도차량 유지보수 검사종류 현황

- 국내 철도차량 유지보수 검사는 경정비, 중정비로 구분하여 시행하고 있음
- 철도차량 검사기준은 일정시간이 지나면 시행하는 시간기준 정비와 일정거리를 운행하면 시행하는 거리기준 정비를 시행하고 있음
 - 1990년대 중반 이전에 제작된 저항형 철도차량, 초과형 철도차량의 경우 직류직권전동기 등 마찰 및 접촉에 의하여 지속적인 마모가 발생하는 부품 및 기기가 적용되었으며, 철도차량의 마모상태를 감시하고 관리하기 위하여 일정한 시간을 정하여 검사하는 방법인 시간과 거리를 기반으로 하는 검사방법을 적용하여 철도차량을 관리하였음
 - 1990년대 중반 이후 철도차량 제어기술과 저전압·저전류 전력전자 소자에 사용되던 GTO, IGCT, IGBT 등의 대용량화로 VVVF 철도차량이 적용되었으며, VVVF 철도차량의 적용으로 3상 유도전동기 등 비접촉식 부품과 기기가 적용되었음
 - 철도차량의 제어방식의 변화로 인하여 유지보수 방법이 큰 변화가 발생하였지만, 각 운영기관에서는 기존 방식인 시간·거리를 기반으로 하는 검사방식을 채택, 시행하고 있음
- 도시철도 운영기관별 철도차량 경정비검사 현황

[표 2.3] 도시철도 운영기관별 철도차량 경정비검사 현황

구분	서울 메트로	서울도시 철도공사	부산교통 공사	대구도시 철도공사	인천 교통공사	대전도시 철도공사	광주도시 철도공사
출차점검	-	운행전	-	-	-	-	-
도착점검	입고시	운행후	-	-	입고시	입고시	입고시
일상검사	72H	7D	72H	1호선 72H 2호선 120H	7D	2천km	7D
월상검사	구형 2M 신형 3M	4M (4만km)	구형 3M 신형 4M	1호선 3M 2호선 4M	4M	4M (3만km)	4M



[그림 2.5] 철도차량 경정비 프로세스

○ 도시철도 운영기관별 철도차량 중정비검사 현황

[표 2.4] 도시철도 운영기관별 철도차량 중정비검사 현황

구분	서울 메트로	서울도시 철도공사	부산교통 공사	대구도시 철도공사	인천 교통공사	대전도시 철도공사	광주도시 철도공사
중간검사	구형 2Y (30만km) 신형 3Y (50만km)	4Y (40만km)	구형 2Y (30만km) 신형 3Y (40만km)	3Y (40만km)	4Y	4Y (40만km)	3Y (40만km)
전반검사	구형 4Y (60만km) 신형 6Y (100만km)		구형 4Y (60만km) 신형 6Y (80만km)	6Y (80만km)			6Y (80만km)

○ 도시철도 운영기관별 철도차량 비정기검사 현황

- 임시검사, 차륜교환검사, 특별검사, 차량인수검사 등이 필요시 시행
- 이상상태 발생시, 이상 징후 감지시 원상회복을 위하여 임시검사 시행
- 차륜 외경이 교환한도에 도달, 차륜의 균열, 파손 등이 발생시 차륜교환검사 시행
- 전동차 개조 등 특별한 계획을 수립하여 특별검사 시행
- 전동차 신규제작, 주요 부위 개조완료시 차량인수검사 시행

○ 운영기관별 보유장비 현황

[표 2.5] 운영기관별 보유장비 현황

구 분	계	상태검사장비	성능검사장비	정비관련 장비	비고
서울메트로	739점	일상검사장치 등 16점	주제어기시험기 등 138점	크레인 등 585점	
한국철도공사	5,835점	차륜자동검사장치 등 65점	제동시험기 등 461점	공작기계 등 5,309점	
서울도시철도공사	410점	-	제동시험기 등 90점	크레인 등 320점	
부산교통공사	411점	일상검사장치 등 8점	제동시험기 등 146점	크레인 등 257점	
인천교통공사	163점	자기탐상기 등 3점	배선시험기 등 67점	크레인 등 93점	
대구도시철도공사			계전기시험기 등 65점		
대전도시철도공사	190점	초음파탐상기 등 4점	계전기시험기 등 46점	크레인 등 140점	
광주도시철도공사	117점	초음파탐상기 등 2점	계전기시험기 등 31점	크레인 등 84점	
신분당선(주)	8점	-	TCMS시험기 등 8점	-	
부산김해경전철 운영(주)	172점	-	CCU시험기 등 32점	부품세척기 등 140점	

나. 국내 시장현황 및 전망

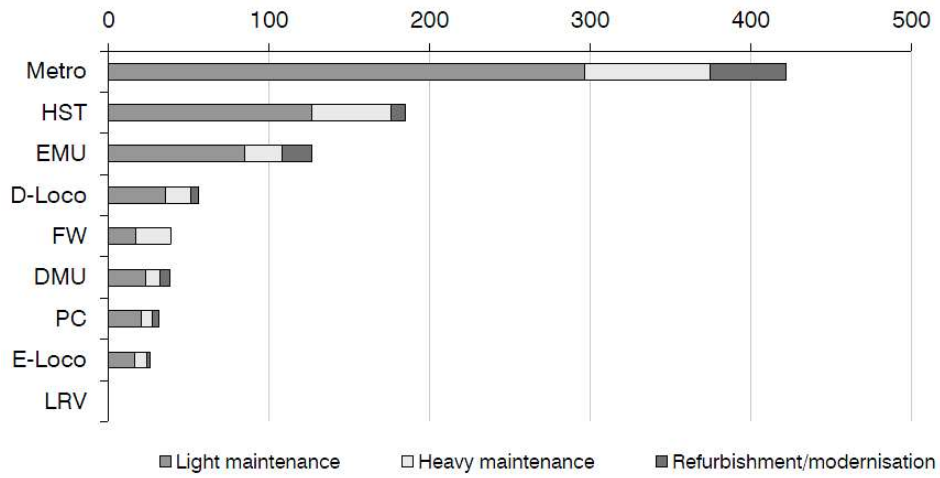
(1) 국내 철도 유지보수 시장

- 국내 철도차량 유지보수시장은 약 9.2억 유로(약 1조 1000억원)이며, 전동차 유지보수 시장이 약 46%를 차지하고 있음. 특히, 서울시 전동차 차량이 전동차 유지보수 시장의 70%를 차지하고 있음 (선로 연장 약 330 km, 연간 23억명 수송)

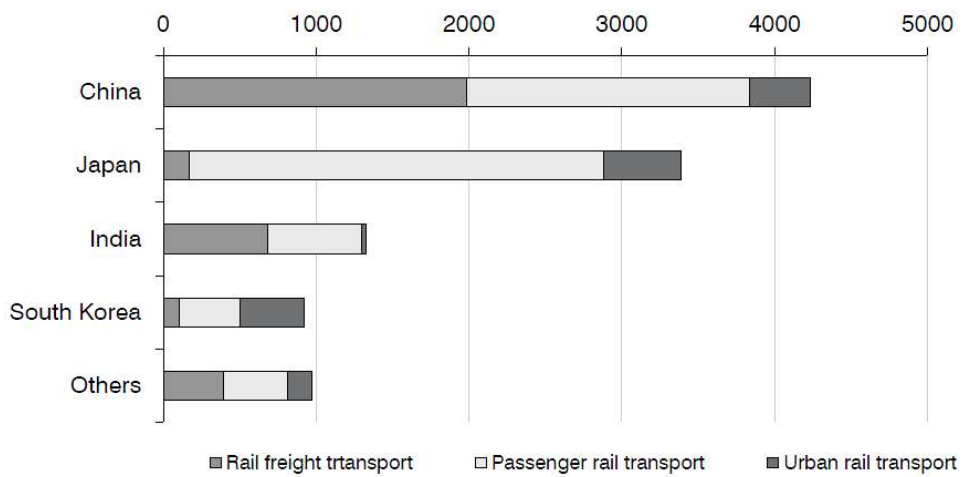
※ 출처: Rail vehicle maintenance global market trends in after-sales service, SCI 보고서(2012)

- 국내 전동차 유지보수 시장은 약 4.2억 유로 (약 5,000억원)이며, 이 중 경쟁비는 약 2.9억 유로(약 3,500억원)로 전체 전동차 유지보수 시장의 70%를 차지

※출처: Rail vehicle maintenance global market trends in after-sales service, SCI 보고서(2012)



[그림 2.6] 대한민국 철도유지보수 시장규모 (단위: 백만 유로)

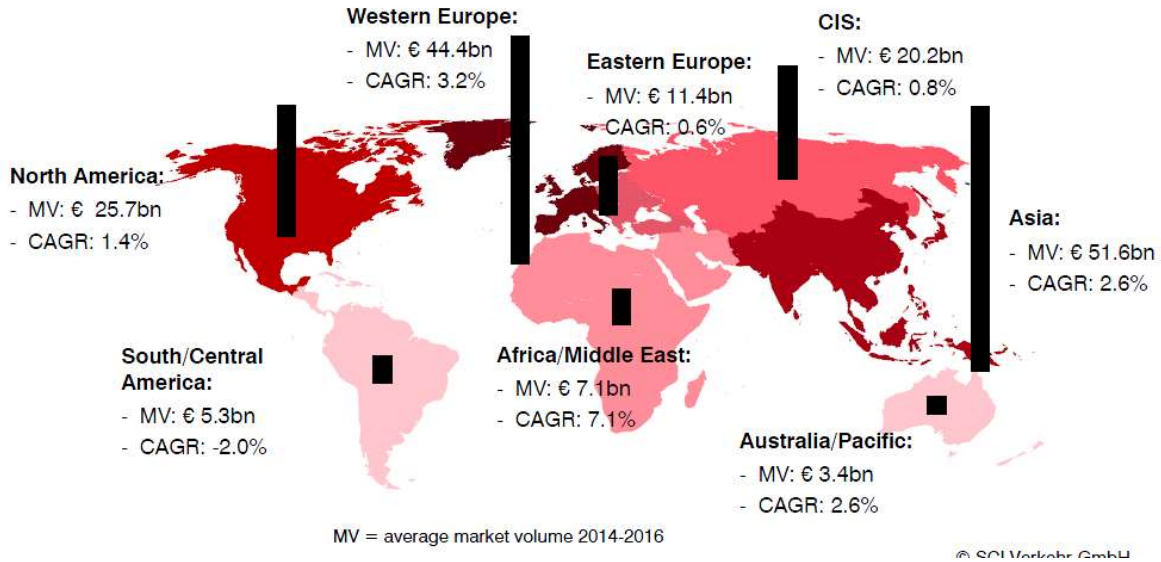


[그림 2.7] 아시아 철도유지보수 시장규모 (단위: 백만 유로)

2. 국외 시장현황 및 전망

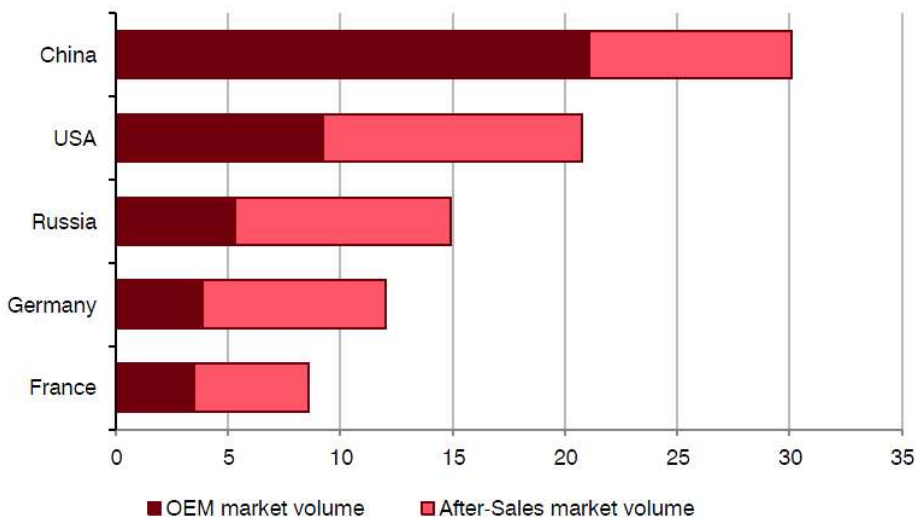
가. 국외 철도시장

- 세계 철도시장은 2020년까지 2.3%의 성장이 예측되며, 유지보수 시장은 총 시장규모 1,690억 유로의 53%를 차지함으로써 신차 시장의 규모를 초과함⁶⁾



[그림 2.8] 세계철도시장 크기 및 2020년까지 예측 성장률

- 세계 시장을 주도하고 있는 상위 5개 나라는 중국, 미국, 러시아, 독일, 프랑스이며 전 세계 철도시장의 50%를 차지하고 있음

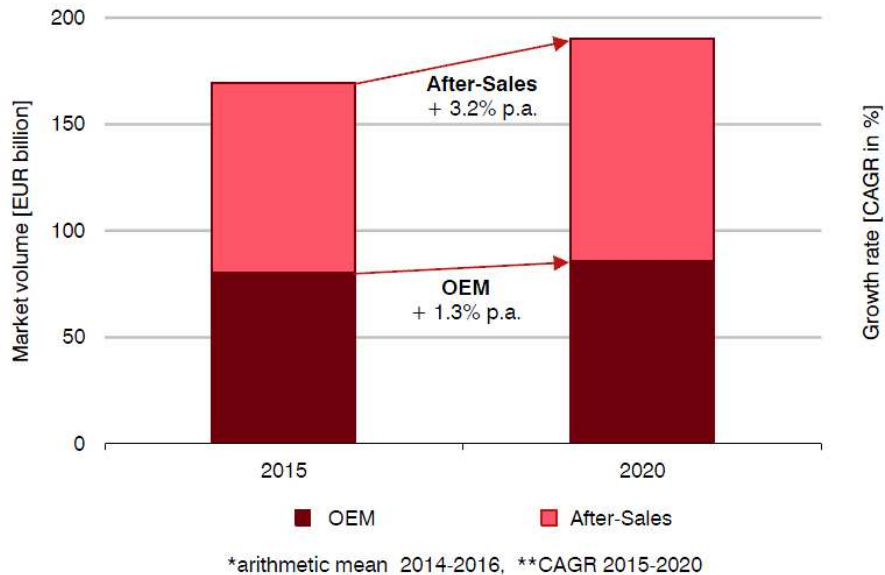


[그림 2.9] 세계 상위 5위 철도시장 주도국

6) SCI 보고서: Worldwide market for railway industries, 2016.9

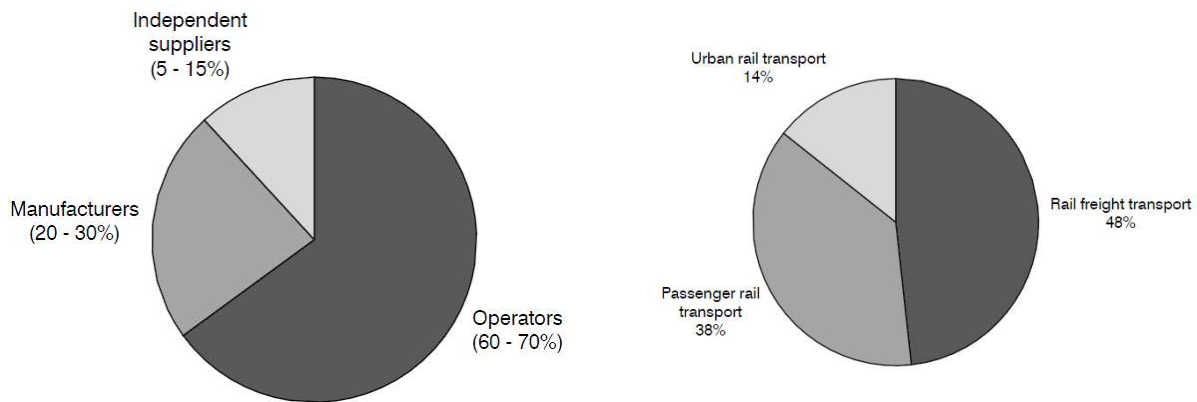
나. 철도차량 유지보수 시장

- 철도차량 유지보수 등 차량 판매후서비스(After-Sales Services)에 대한 세계시장 규모는 2015년 기준으로 890억 유로 수준으로, 2020년까지 연 평균 3.2%씩 성장할 것으로 예측되며, 신차 시장의 규모를 초과하였음⁷⁾



[그림 2.10] 세계 철도유지보수시장(2015년)

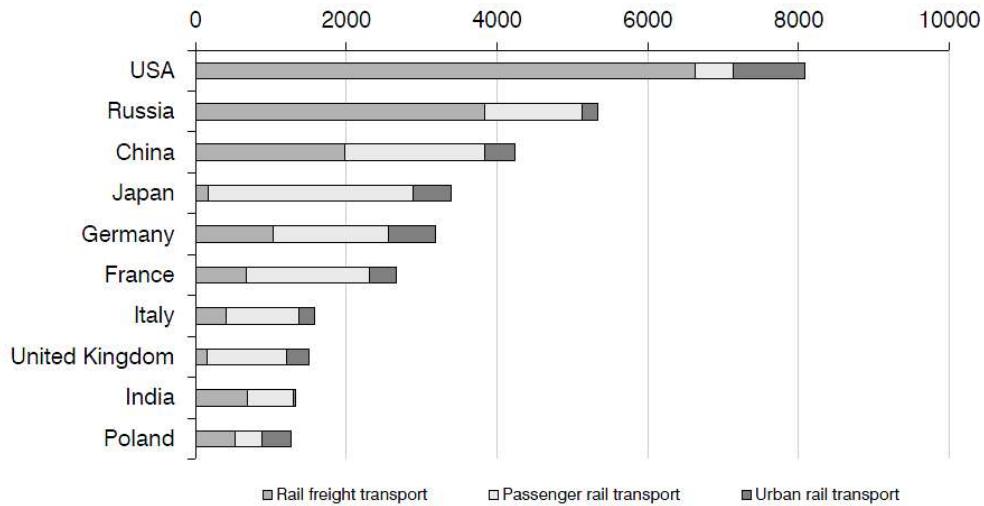
- 기관유형별로 살펴보면 철도운영기관이 소유하는 차량의 유지보수는 시장규모가 60~70%를 차지하고 있으나, 철도차량 제작사나 공급자를 통해 유지 보수하는 시장비율이 점차 증가하는 추세임.
- 수송유형별로 살펴보면 화물수송차량 유지보수가 거의 50%로 시장규모가 가장 높게 나타났지만, 고속철도(HSR), 도시철도, 경량전철 등 여객수송 차량의 유지보수 시장비율이 크게 증가하는 추세임



[그림 2.11] 유지보수시장 규모 및 수송수단별 규모(2013년)

7) SCI 보고서: Worldwide market for railway industries, 2016.9

- 국가별로 살펴보면 화물수송 비중이 높은 미국의 시장규모가 가장 크게 나타나고 있으며, 러시아, 중국 순임. 상위 10개국의 연평균 성장률이 5%인데 반하여, 중국의 경우 거의 연 10%의 높은 성장률을 나타내고 있음. 중국은 미국, 러시아에 비해 시장규모의 약 50%가 여객 및 도시철도 차량에 의해 형성되고 있으며, 고속철도 및 도시철도 차량의 경우 연 15% 이상의 성장률을 예상함. 일본은 약 95%가 고속철도 및 도시철도 차량으로 시장이 형성됨



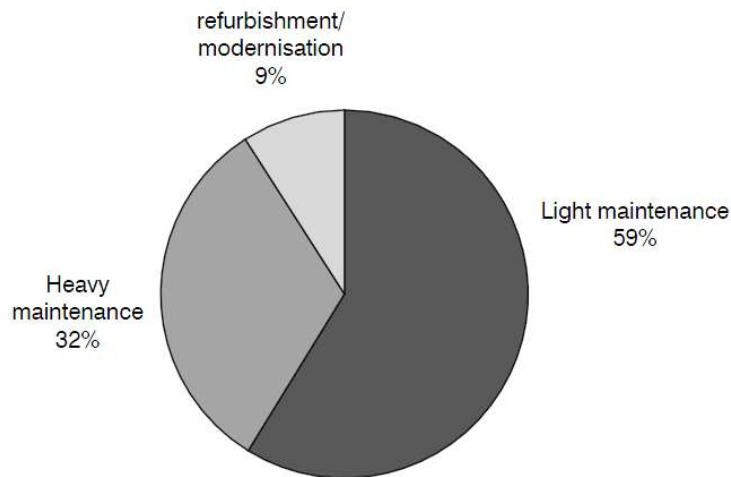
[그림 2.12] 세계 상위 10위 유지보수시장 크기(단위: 백만 유로)

- 철도차량 유형별로 살펴보면 고속철도차량의 성장률이 연 10%로 가장 높게 나타나고 있으며, 미국, 사우디아라비아, 모로코, 터키 등에서 새로운 고속철도 건설계획에 따라 연속적 성장이 예상됨. 또한 세계적으로 도시철도 차량의 업그레이드에 기인하여 연 5.3%의 높은 성장률을 나타내고 있음

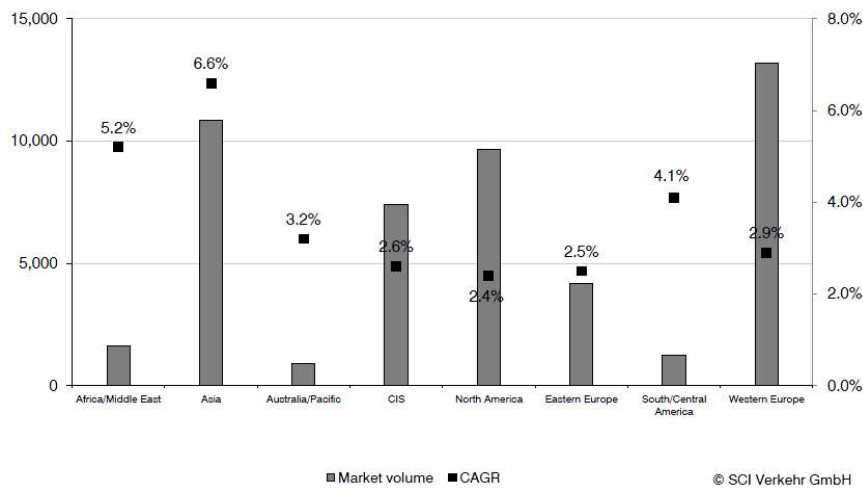
World: After-Sales services			
Vehicle segment	Current market volume of After-Sales service p.a. (in EUR million)	Average market development 2013-2018 (in % p.a.)	Volatility of market development 2013-2018 (in % total)
E-Loco	5 000	+2.4	0.0
D-Loco	11 750	+2.1	0.1
HST	4 300	+10.0	0.8
EMU	6 100	+3.8	0.2
DMU	1 400	+3.2	0.2
PC	3 900	+2.1	0.5
FW	9 400	+2.9	0.1
LRV	2 900	+3.6	0.3
Metro	4 200	+5.3	0.1
Total	49 000	+3.7	0.1

[그림 2.13] 차량분야 유지보수시장 규모(2013년)

- 유지보수 유형별로 살펴보면 차량 운영 중(running)의 경정비(light maintenance) 시장 규모가 290억 유로(59%)로서 가장 많은 비중을 차지하고 있으며, 중정비(Heavy maintenance) 및 대수선(Refurbishment) 시장규모는 각각 160억 유로(32%)와 45억 유로(9%)로 나타나고 있음.
- 대륙별로는 서유럽(Western Europe)지역의 시장규모가 가장 크고, 두 번째가 아시아 시장임

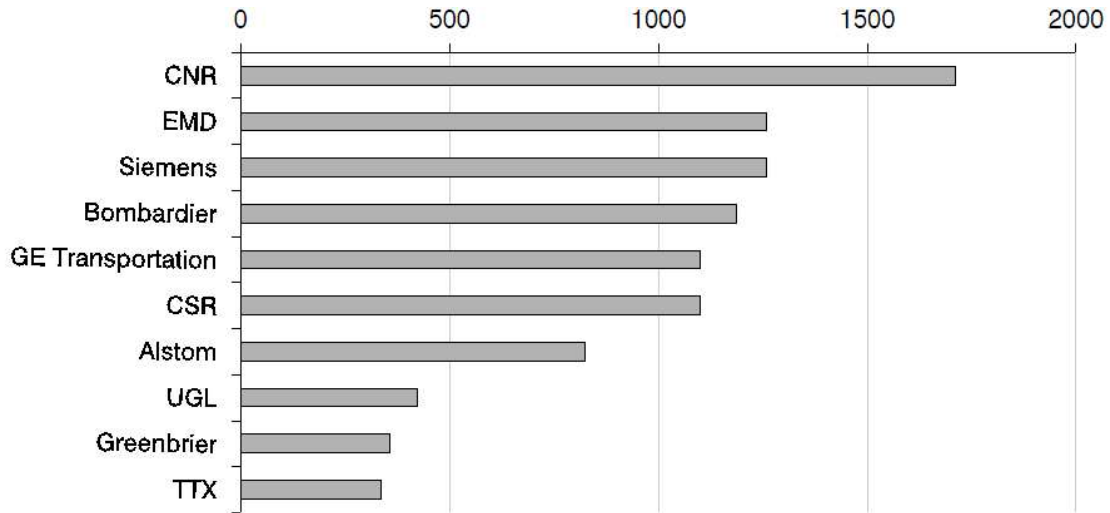


[그림 2.14] 유지보수시장 부문별 비율(2013년)



[그림 2.15] 유지보수시장 규모 및 연평균 성장률(2013-2018)

- 철도차량 유지보수 등 판매후서비스(After-Sales Services) 시장을 점유하는 주요 기업은 대부분 차량 제작사이며, 중국의 철도차량 제작회사인 CNR이 가장 큰 점유율을 하고 있음. 중국의 CNR은 CSR과 함께 중정비 및 전면개편 업무를 하고 있음. EMD, Siemens, Bombardier, GE Transportation 그 뒤를 따르고 있음



¹ Financial years starting in 2012 were allocated to the year 2013

² Foreign currencies were converted using the average daily exchange rate of the reporting year

© SCI Verkehr GmbH

[그림 2.16] 세계 톱 10위 유지보수서비스 제공 기업 순위(2013년, 단위: 백만 유로)

3. 시장분석 결론 및 시사점

- 철도차량 유지보수 시장은 신규 차량 제작 시장과 유사한 규모로 매우 중요한 시장이며, 점차 증가하고 있음. 특히 제조사에 의한 유지보수시장이 매우 급속한 성장세를 보이고 있음
- 철도차량 유지보수 등 차량 판매후서비스(After-Sales Services)에 대한 세계시장 규모는 경정비가 전체시장의 59%, 중정비가 전체시장의 32%를 차지
- 국내 철도차량 유지보수시장은 전동차 유지보수 시장이 약 46%를 차지하고 있음. 국내 전동차 유지보수 시장 중 경정비는 전체 전동차 유지보수 시장의 약 70%를 차지
- 결론적으로 세계 유지보수 시장은 신규 차량제작에 비교할 만큼 큰 시장으로서 관련기술의 개발이 시급하고, 제작사에 의한 유지보수로의 전환이 이루어지고 있는 만큼 유지보수작업의 신뢰도를 높이고 비용절감을 위해서는 차량 제작 단계에서부터 이에 대한 고려가 필요함. 또한 자동화를 통하여 유지보수 비용의 상당부분을 차지하는 인건비를 절감할 필요가 있음

3절 기술(특허, 논문 등) 동향

1. 특허동향

가. 지능형 센싱기술

○ 분석기준

[표 2.6] 지능형 센싱기술-특허분석기준

구분	분석 기준				
특허검색 DB	Thomson Innovation				
검색국가	미국	유럽	일본	한국	중국
	출원, 등록	출원, 등록	출원, 등록	출원, 등록	출원, 등록
분석구간	1945.01.01.~2017.2.20				
검색범위	Text, Abstract				

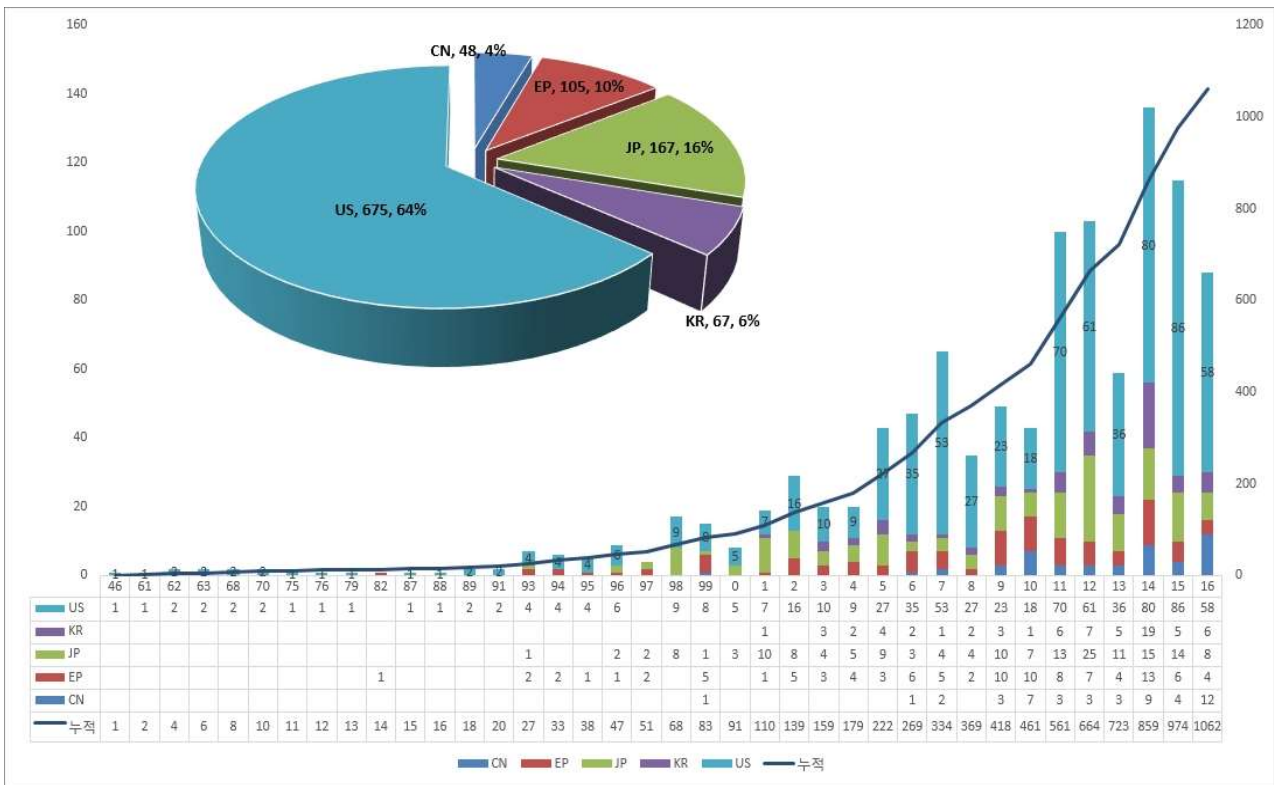
○ 분석범위(기술별 검색 조합식 및 대상특허건수)

[표 2.7] 지능형 센싱기술-특허분석범위

기술구분	검색 조합식	대상 특허건수
A. 지능형 센싱기술	AA. 차체/대차/판토 외관검사를 위한 머신비전 기술 ALL=((railway or railroad or train or locomotive or railcar or transit or tram or (railway adj vehicle) or (rolling adj stock)) and mainten* and ((vision or visual) adj sens*) and inspect*)	334 건
	AB. 차륜/제륜차/디스크 형상측정을 위한 레이저스캔 기술 ALL=((railway or railroad or train or locomotive or railcar or transit or tram or (railway adj vehicle) or (rolling adj stock)) and ((laser adj scan*) and (dimension* adj measure*)))	196 건
	AC. 차량하부 이상발열 측정을 위한 적외선 센싱기술 ALL=((railway or railroad or train or locomotive or railcar or transit or tram or (railway adj vehicle) or (rolling adj stock)) and mainten* and ((infrared adj sens*) and inspect* and therm*))	562 건
	AD. 차상 이상발열/진동/소음 측정을 위한 IoT 센싱기술 ALL=((railway or railroad or train or locomotive or railcar or transit or tram or (railway adj vehicle) or (rolling adj stock)) and mainten* and (iot and sens* and measur*))	205 건

○ 국가별/기술별 특허동향분석 (출원년도 및 국가별 특허출원 동향)

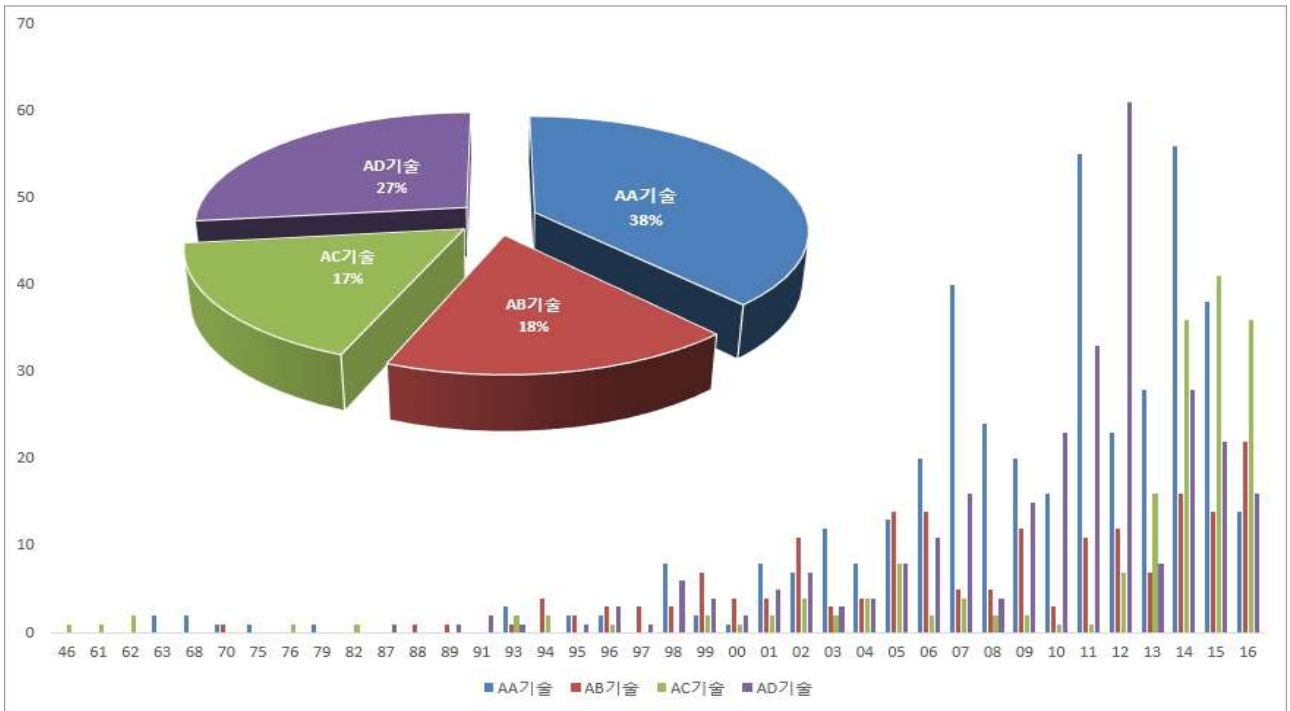
- 지능형 센싱기술 분야의 특허동향을 살펴보면, 현재까지 1,062건의 특허가 출원되고 있으며, 90년대 후반부터 특허 출원이 급격히 증가되고 있음
- 국가별 출원현황을 살펴보면 미국이 64%(675건)로 최대 출원국이며, 일본, 유럽, 한국, 중국의 순서로 출원이 이루어지고 있음
- 미국은 최근까지 가장 높은 출원비중을 보였으며, 출원수도 증가추세로 나타나 여전히 이 분야의 선도국가로 보여짐
- 중국은 2,000년대 중반이후부터 출원비중은 낮지만 출원활동은 꾸준히 증가하고 있음
- 우리나라는 2,000년대 초반부터 특허의 출원이 지속적으로 상승추세인 것으로 보아 관련분야의 관심도가 높음을 알 수 있음



[그림 2.17] 지능형 센싱기술-특허 출원년도 및 국가별 출원추이

○ 세부기술별 특허출원 동향

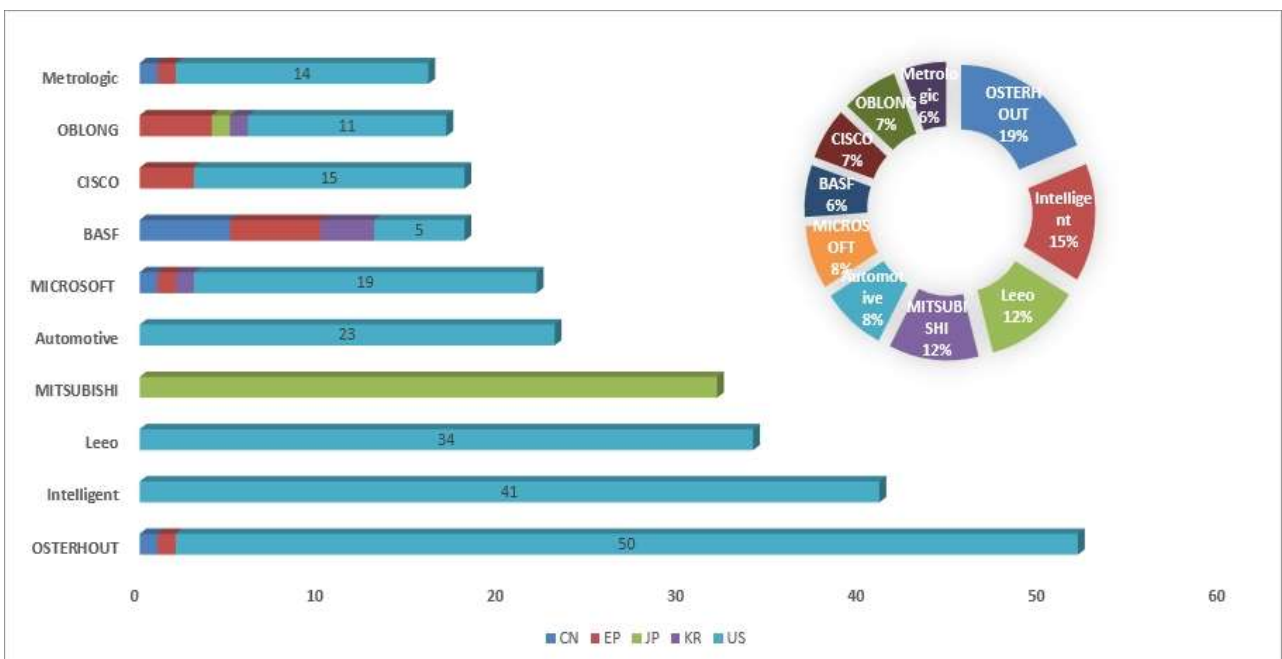
- 차체/대차/판토 외관검사를 위한 머신비전기술(AA기술)의 특허출원 비중이 가장 높으며 최근 차량하부 이상발열 측정을 위한 적외선 센싱기술(AC기술)과 차상 이상발열/진동/소음 측정을 위한 IoT센싱 기술(AD기술)의 특허출원이 급격하게 증가하고 있음
- 차륜/제륜자/디스크 형상측정을 위한 레이저스캔 기술(AB기술)분야도 지속적으로 특허출원이 이루어지고 있으며, 관련 분야에 대한 관심도 유지되는 것으로 보여짐



[그림 2.18] 지능형 센싱기술-세부기술별 특허출원동향

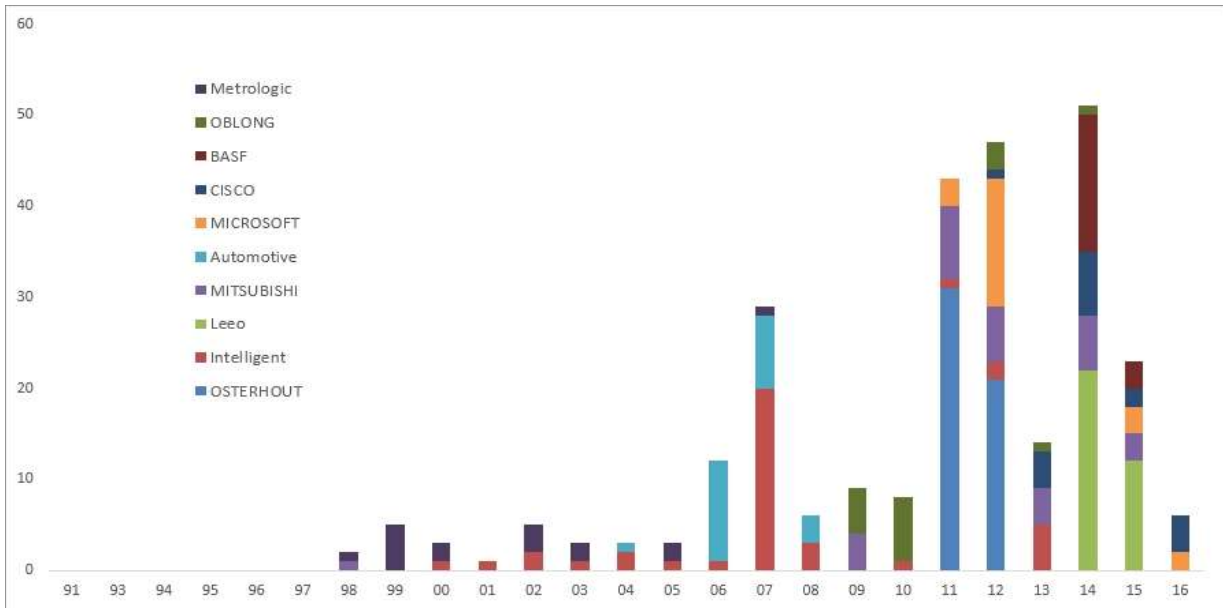
○ 주요 출원인 분석

- 철도차량 검측진단 시스템 기술 분야 전반에 걸쳐 많은 특허를 출원한 상위 10개의 출원인을 분석한 결과, OSTERHOUT, INTELLIGENT, LEEO 등 미국업체에서 출원 건수가 집중되고 있고 아시아에서는 일본의 MITSUBISHI가 특허출원을 많이 하고 있음



[그림 2.19] 지능형 센싱기술-주요 출원인 동향

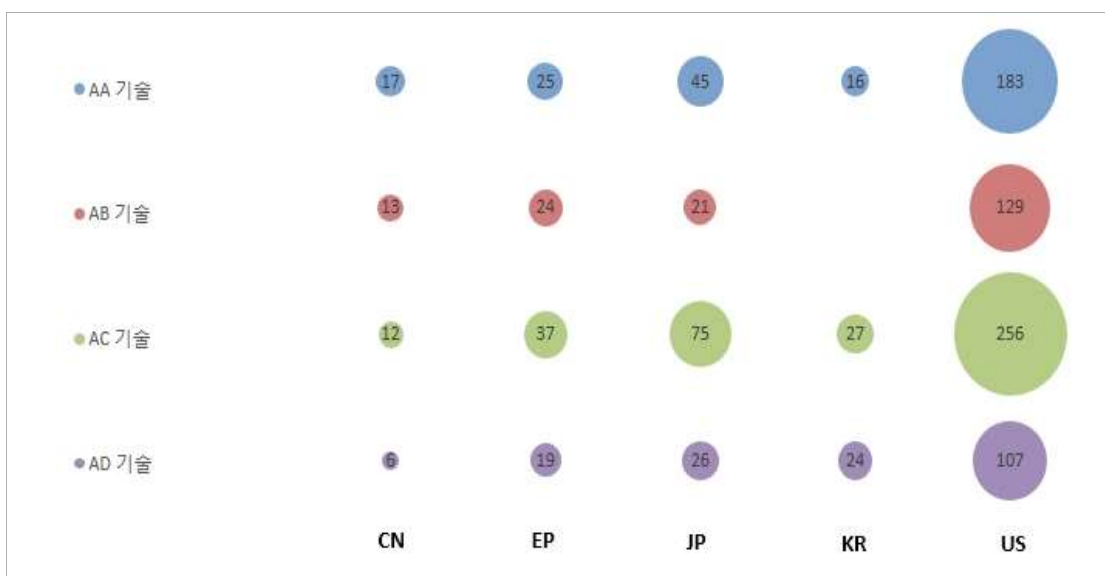
- 주요 출원인의 연도별 특허출원을 보면 최다 출원인인 OSTERHOUT사는 2,012년 이후 특허 출원이 없으며, LEEEO, CISCO, BASF 등에서 꾸준히 특허출원이 이루어지고 있음



[그림 2.20] 지능형 센싱기술-연도별 주요 출원인 동향

○ 국가별 기술 분포

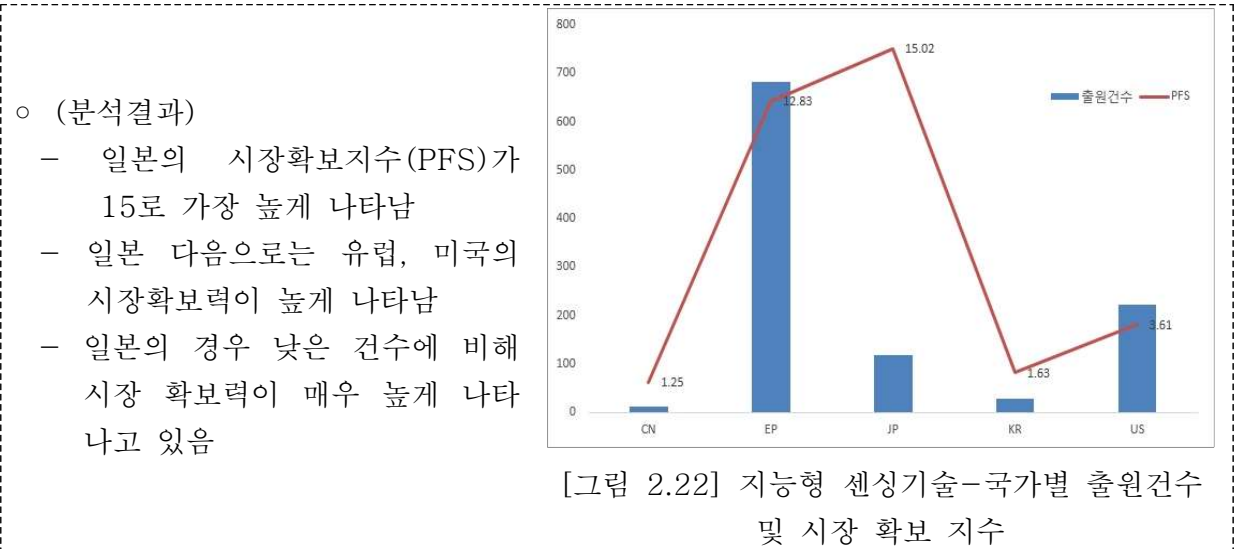
- 출원국가별 세부기술 특허분포를 살펴본 결과 이상발열 검사를 위한 적외선 센싱기술 (AC기술)에 대해 집중도가 높게 나타나고 있음
- 한국의 경우 모든 분야에서 특허가 가장 낮은 수준으로 차체/대차/판토 외관검사를 위한 머신비전 기술(AA기술), 차륜/제륜자/디스크 형상측정을 위한 레이저스캔 기술(AB 기술) 확보가 시급한 상황임을 알 수 있음



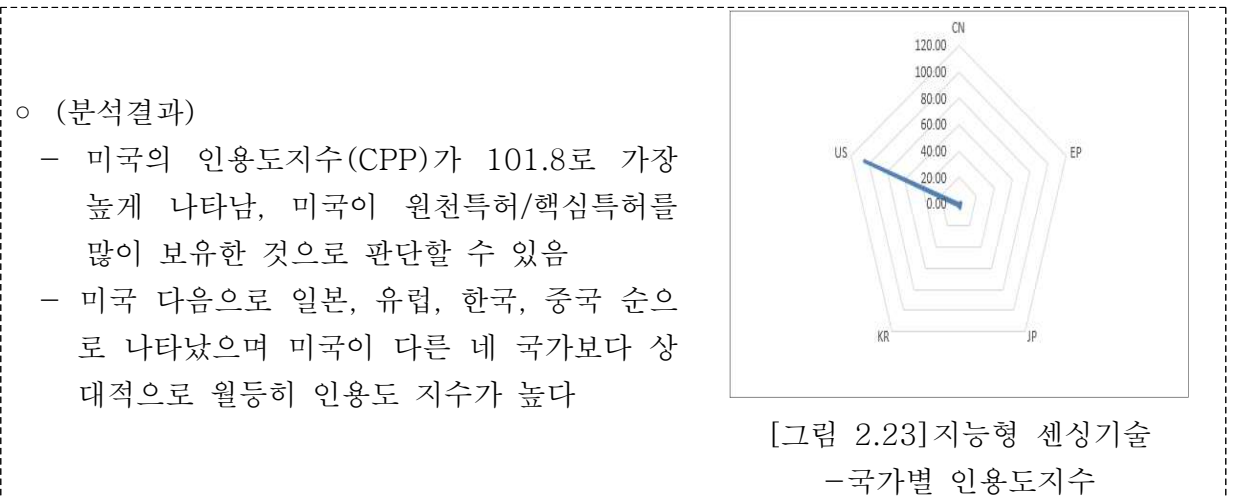
[그림 2.21] 지능형 센싱기술-기술별/국가별 기술 분포(버블형)

○ 국가별 특허분포 지수분석

- 시장확보지수 (PFS : Patent Family Size)는 특정 국가에서 상업적인 이익 또는 기술 경쟁 관계에 있을 때 해외에 특허를 출원하므로, Family Patent 수가 많을 때 특허를 통한 시장성이 크다고 판단되어 이를 시장 확보력의 지표로 사용함
- 국가별 시장확보지수(PFS) = (∑ 해당국가 특허별 패밀리) / 해당국가 특허건수



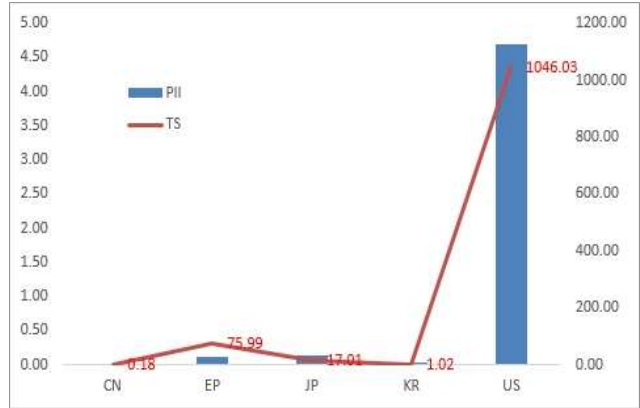
- 인용도지수 (CPP : Cites Per Patent)는 특정 국가의 특허들이 이후 등록되는 특허들에 의해 인용되는 횟수가 많을수록 기술경쟁력이 높으므로, 인용도지수(CPP)가 클수록 원천특허/핵심특허를 많이 보유한 정도를 나타내는 지표로 사용함
- 국가별 인용도 지수(CPP) = (∑ 해당국가 특허별 피인용수) / 해당국가 특허건수



- 영향력지수(PII : Patent Impact Index)는 특정 국가가 소유한 기술의 질적수준을 측정하는 지수이며, 기술력지수(TS : Technology Strength)는 특정 국가의 기술보유 양적수준(특허건수)과 영향력지수(질적수준)를 함께 나타냄
- 국가별 영향력 지수(PII) = 해당국가 특허 인용도지수 / 전체(모든국가) 특허 인용도지수
- 국가별 기술력 지수(TS) = 해당국가 특허건수 × 해당국가 영향력 지수

○ (분석결과)

- 미국의 영향력지수(PII)가 4.7로 가장 높게 나타나 질적수준에서 가장 경쟁력 있는 것으로 보임
- 양적 수준(특허건수)을 고려한 기술력지수(TS)에서도 미국이 1,046.4로 다른 나라에 비해 월등하게 높게 나타남
- 우리나라는 영향력지수, 기술력 지수 모두 최하위 수준으로, 향후 지속적인 기술역량 강화가 필요함



[그림 2.24] 지능형 센싱기술-국가별 영향력지수 및 기술력지수

나. 이동식 자동검측기술

○ 분석기준

[표 2.8] 이동식 자동검측기술-특허분석기준

구분	분석 기준				
특허검색 DB	Thomson Innovation				
검색국가	미국	유럽	일본	한국	중국
	출원, 등록	출원, 등록	출원, 등록	출원, 등록	출원, 등록
분석구간	1959.01.01 - 2016.2.20				
검색범위	Text, Abstract				

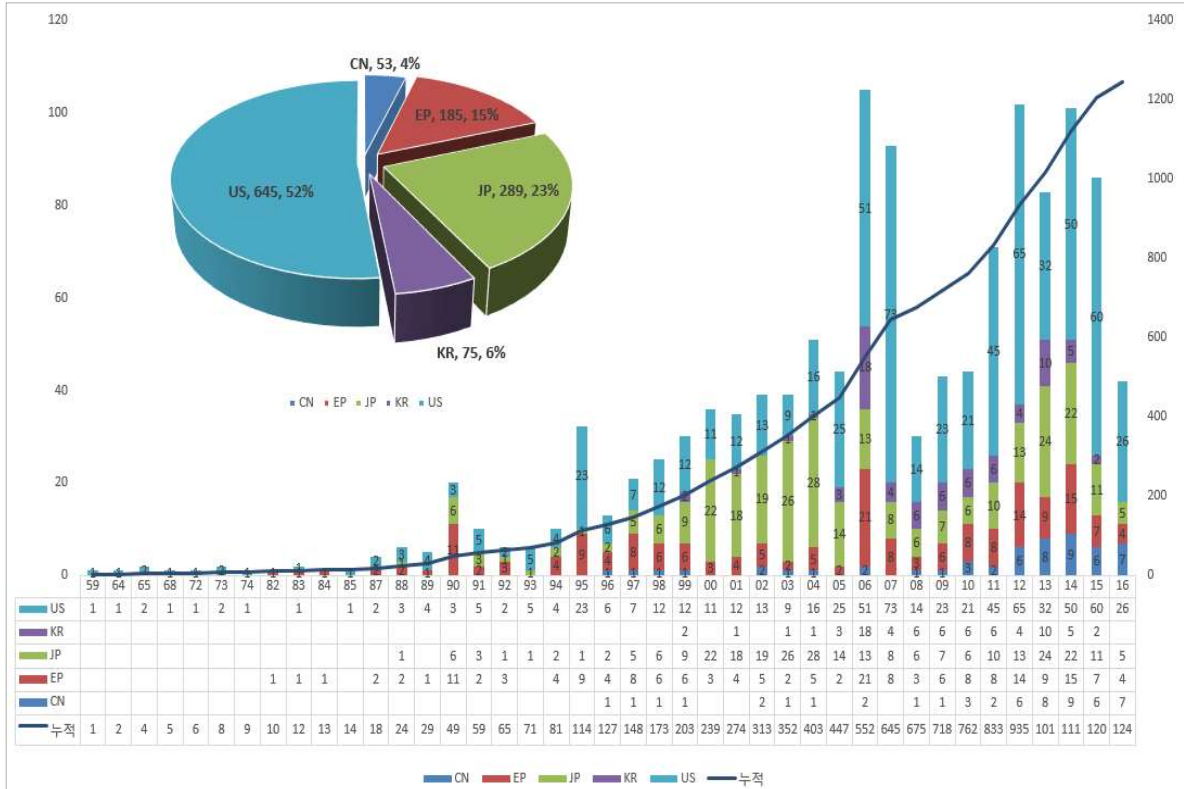
○ 분석범위(기술별 검색 조합식 및 대상특허건수)

[표 2.9] 이동식 자동검측기술-특허분석범위

기술구분	검색 조합식	대상 특허건수
D. 이동식 자동검측기술	DA. 이동식 자동검측기술 ALL=((railway or railroad or train or locomotive or railcar or transit or tram or (railway adj vehicle) or (rolling adj stock)) and mainten* and (mobil* adj robot*))	701 건
	DB. 자동형상 및 치수측정기술 ALL=((railway or railroad or train or locomotive or railcar or transit or tram or (railway adj vehicle) or (rolling adj stock)) and mainten* and autom* and (dimensio* adj measure*))	556건

○ 국가별/기술별 특허동향분석 (출원년도 및 국가별 특허출원 동향)

- 지능형 센싱기술 분야의 특허동향을 살펴보면, 현재까지 1,805건의 특허가 출원되고 있으며, 90년대 후반부터 특허 출원이 급격히 증가되고 있음

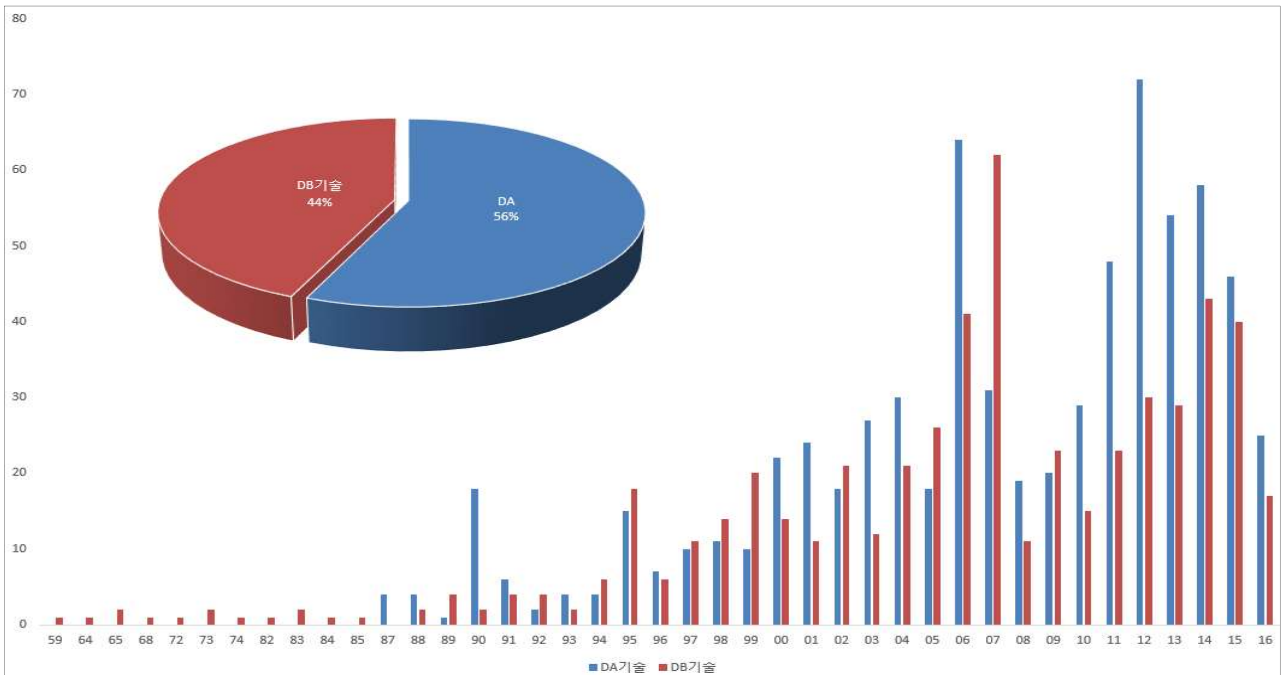


[그림 2.25] 이동식 자동검측기술-출원년도 및 국가별 출원추이

- 국가별 출원현황을 보면 미국이 52%(645건)로 최대 출원이며, 일본, 유럽, 한국, 중국의 순서로 출원이 이루어지고 있음
- 미국은 최근까지 가장 높은 출원비중을 보였으며, 출원수도 증가추세로 나타나 여전히 이 분야의 선도국가로 보여짐
- 일본은 2,000년대 중반이후부터 출원비중은 낮지만 출원활동은 꾸준히 증가하고 있음
- 우리나라는 2,000년대 후반부터 특허의 출원이 상승추세인 것으로 보아 관련분야의 관심도가 높음을 알 수 있음

○ 세부기술별 특허출원 동향

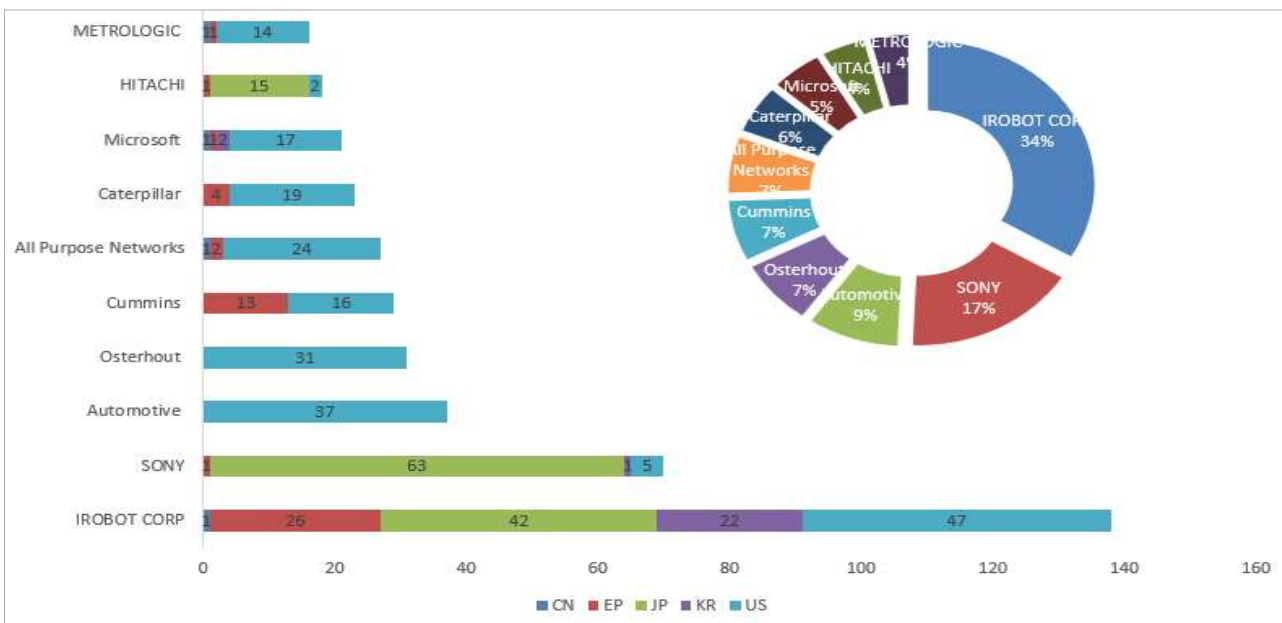
- 이동식 검측기술(DA기술)의 특허출원 비중이 가장 높으며 자동형상 및 측정기술 (DB 기술) 특허출원이 DA와 마찬가지로 증가하고 있음



[그림 2.26] 이동식 자동검측기술-세부기술별 특허출원동향

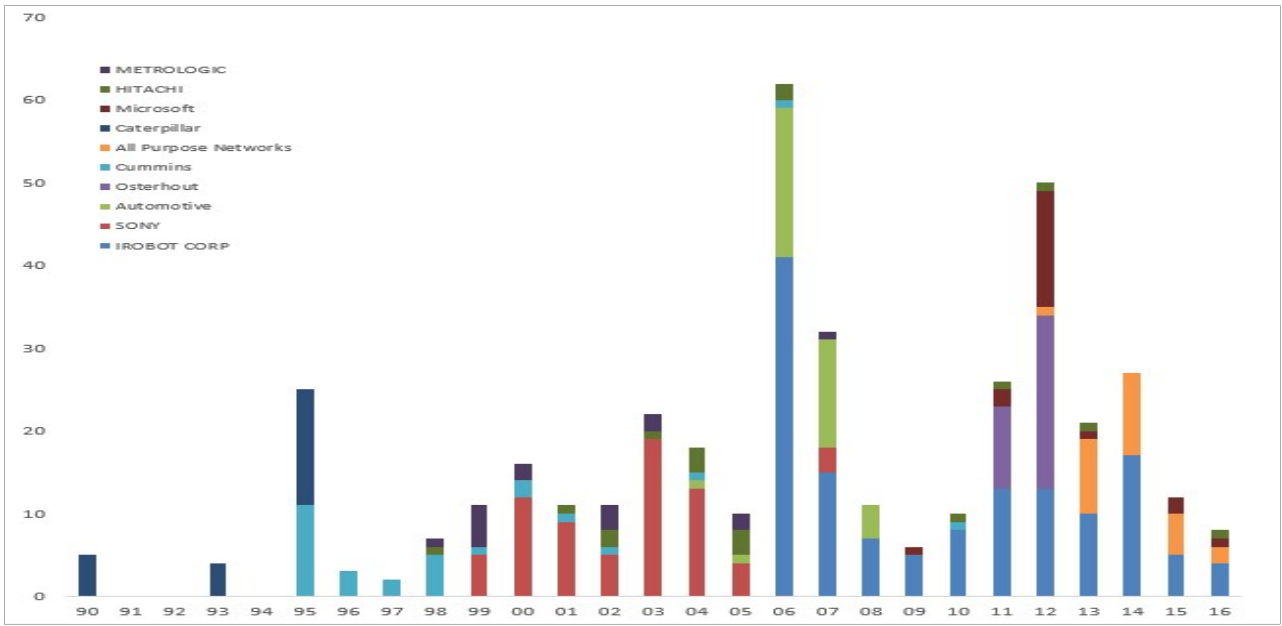
○ 주요 출원인 분석

- 철도차량 검측진단 시스템 기술 분야 전반에 걸쳐 많은 특허를 출원한 상위 10개의 출원인을 분석한 결과, IROBOT사의 미국과 SONY사의 일본이 선두를 달리고 있으며, 대체적으로 미국의 특허출원 점유율이 매우 높음



[그림 2.27] 이동식 자동검측기술-주요 출원인 동향

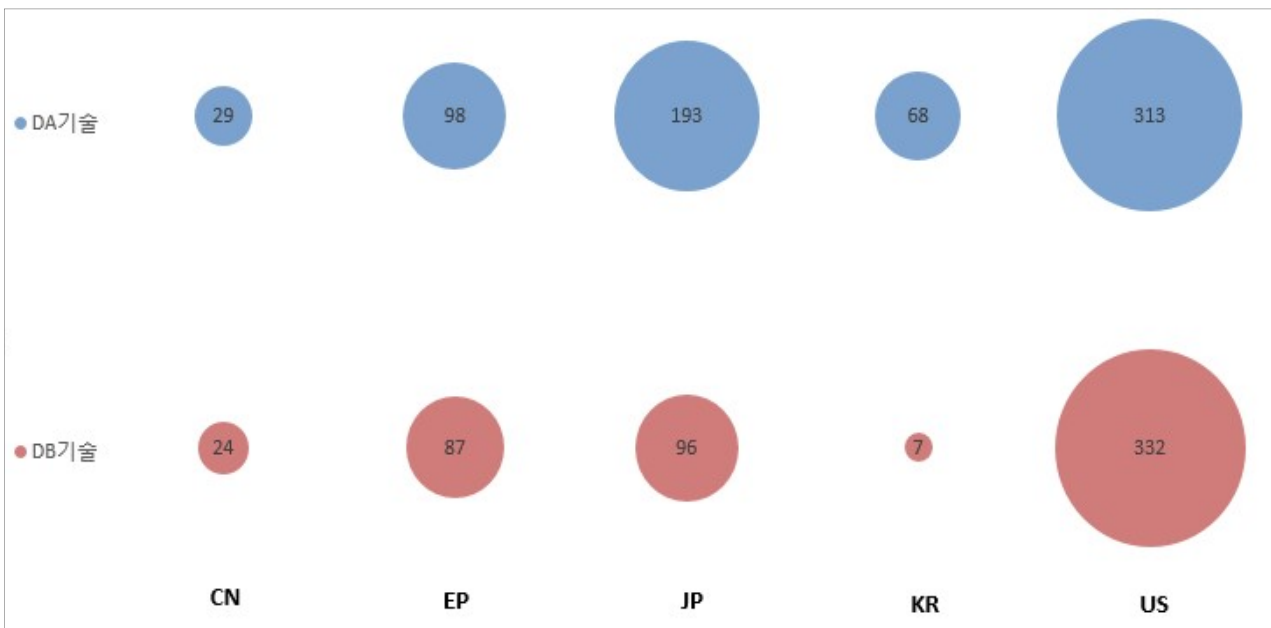
- 주요 출원인의 연도별 특허출원을 보면 최다 출원인인 IROBOT는 2015년 이후 출원이 다소 잠잠해졌으며, Microsoft 및 All Purpose Networks의 특허출원은 지속적으로 진행되기는 하나, 아직 선두 주자인 IROBOT을 추월하지는 못하고 있음



[그림 2.28] 이동식 자동검측기술-연도별 주요 출원인 동향

○ 국가별 기술 분포

- 세부기술에 대한 출원 국가별 특허분포를 살펴본 결과 이동식 검측기술(DA기술)에 대해 집중도가 높게 나타나고 있음
- 한국의 경우 자동형상 및 치수측정 기술(DB기술)분야에서 가장 낮고 이동식 검측기술(DA기술)분야도 중국에 이어 하위권으로 기술확보가 시급한 상황임을 알 수 있음



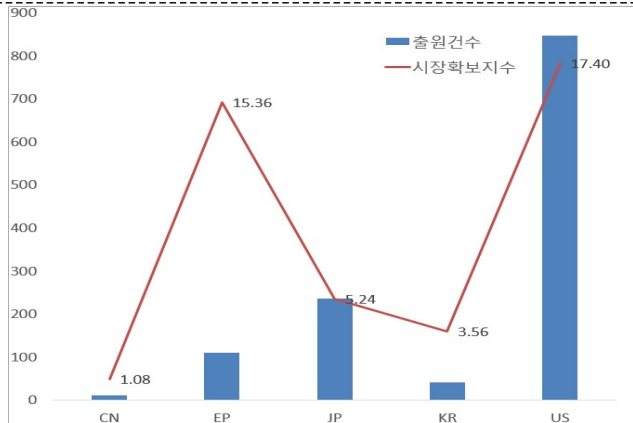
[그림 2.29] 이동식 자동검측기술-기술별/국가별 기술 분포(버블형)

○ 국가별 특허분포 지수분석

- 시장확보지수 (PFS : Patent Family Size)

○ (분석결과)

- 미국의 시장확보지수(PFS)가 17.4로 가장 높게 나타남
- 미국 다음으로는 유럽, 일본의 시장확보력이 높게 나타남
- 유럽 경우 낮은 건수에 비해 시장확보력이 매우 높게 나타나고 있음

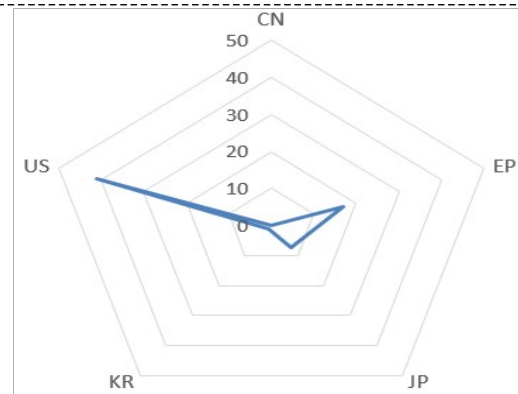


[그림 2.30] 이동식 자동검측기술-국가별 출원건수 및 시장 확보 지수

- 인용도지수 (CPP : Cites Per Patent)

○ (분석결과)

- 미국의 인용도지수(CPP)가 41로 가장 높게 나타남, 미국이 원천특허/핵심특허를 많이 보유한 것으로 판단할 수 있음
- 미국다음으로 유럽, 일본, 한국, 중국순으로 나타났으며 미국이 다른 네 국가보다 상대적으로 월등히 인용도 지수가 높다

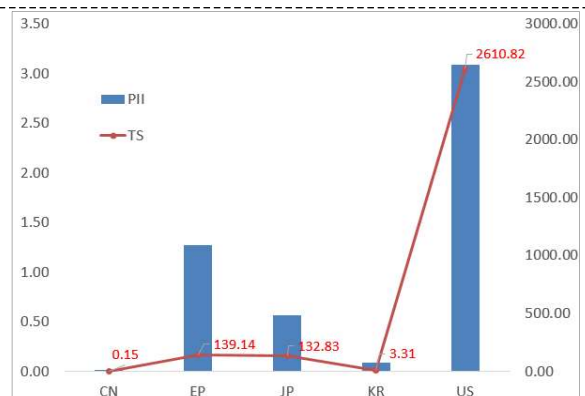


[그림 2.31] 이동식 자동검측기술-국가별 인용도지수

- 영향력지수(PII : Patent Impact Index) 및 기술력지수(TS : Technology Strength)

○ (분석결과)

- 미국의 영향력지수(PII)가 3.08로 가장 높게 나타나 질적수준에서 가장 경쟁력 있는 것으로 보임
- 양적 수준(특허건수)을 고려한 기술력지수(TS)에서도 미국이 2610.82로 다른 나라에 비해 월등하게 높게 나타남
- 우리나라는 영향력지수, 기술력 지수 모두 중국에 이어 최하위 수준으로, 향후 지속적인 기술역량 강화가 필요함



[그림 2.32] 이동식 자동검측기술-국가별 영향력지수 및 기술력지수

다. 빅데이터분석 기반 주요장치 자가진단 기술

○ 분석기준

[표 2.10] 자가진단기술-특허분석기준

구 분	분석 기준				
특허검색 DB	Thomson Innovation				
검색국가	미국	유럽	일본	한국	중국
	출원, 등록	출원, 등록	출원, 등록	출원, 등록	출원, 등록
분석구간	1945.01.01-2017.2.20				
검색범위	Text, Abstract				

○ 분석범위(기술별 검색 조합식 및 대상특허건수)

[표 2.11] 자가진단기술-특허분석범위

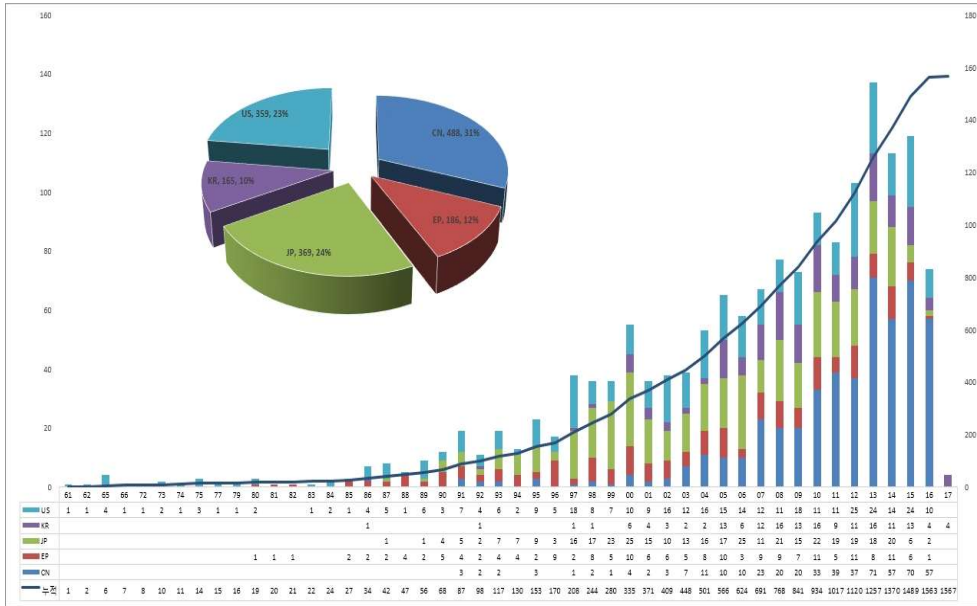
기술구분	검색 조합식	대상 특허건수
B. 빅데이터 분석기반 철도부품의 자가진단 기술	BA. 차체 및 대차의 외관상태 자가진단 및 예측기술 ALL=((railway or railroad or train or locomotive or railcar) and mainten* and (autom* and (inspect* or diagnos*) and (carbody or bogie)))	412 건
	BB. 차륜 손상 자가진단 및 예측기술 AB=((railway or railroad or train or locomotive or railcar) and (automa* and wheel and mainten*))	195 건
	BC. 제동 장치 손상 자가진단 및 예측기술 ALL=((railway or railroad or train or locomotive or railcar) and mainten* and (autom* and (inspect* or diagnos*) and (brake near (disk or shoe))))	258 건
	BD. 축상베어링 손상 자가진단 및 예측기술 AB=((railway or railroad or train or locomotive or railcar) and (automat* and bearing))	785 건

○ 국가별/기술별 특허동향분석 (출원년도 및 국가별 특허출원 동향)

- 빅데이터기반 철도부품의 자가진단기술 분야의 특허동향을 살펴보면, 현재까지 1,567 건의 특허가 출원되고 있으며, 90년대부터 특허 출원이 급격히 증가되고 있음
- 국가별 출원현황을 보면 중국이 31%(483건)로 최대 출원국이며, 일본, 미국, 유럽, 한

국의 순서로 출원이 이루어지고 있음

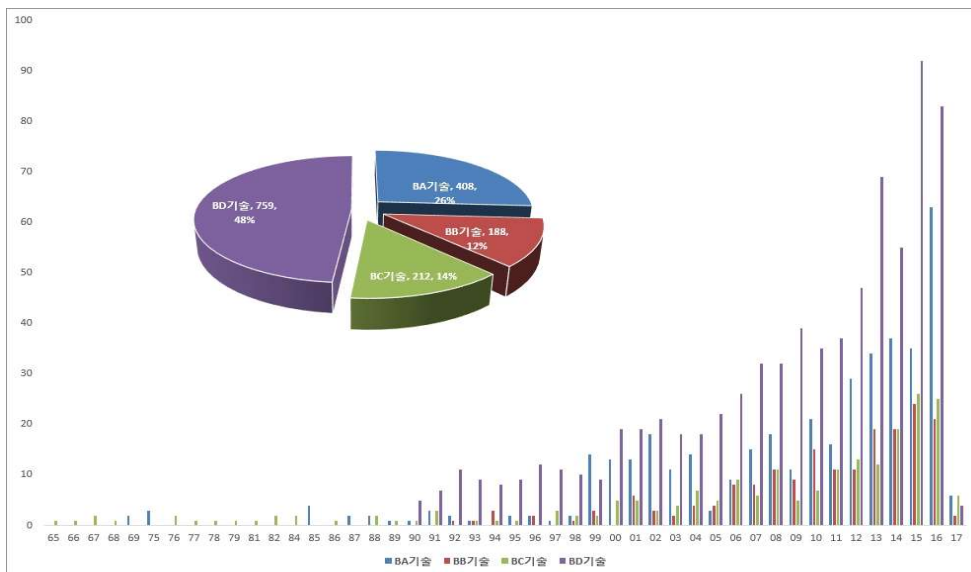
- 중국은 2,000년 초반부터 최근까지 출원활동이 급격하게 증가하는 것을 알 수 있으며, 미국, 일본, 유럽, 한국은 일정한 수준으로 특허출원 활동이 유지되고 있음



[그림 2.33] 자가진단기술-출원년도 및 국가별 출원추이

○ 세부기술별 특허출원 동향

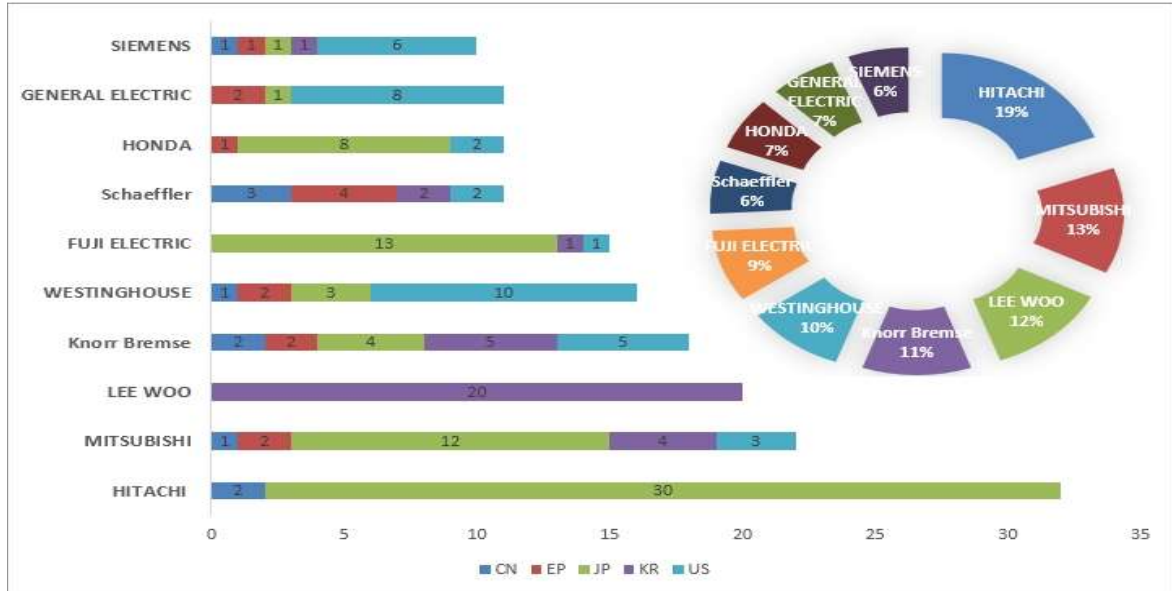
- 축상 베어링 손상 자가진단 및 예측기술(BD기술)의 특허출원 비중이 가장 높으며 최근 차체 및 대차의 외관상태 자가진단 및 예측기술(BA기술)의 특허출원이 2000년대에서부터 서서히 증가하며 비중을 높이고 있음
- 차륜 손상 자가진단 및 예측기술(BB기술)과 제동장치 손상 자가진단 및 예측기술(BC기술)분야도 지속적으로 특허 출원이 이루어지고 있으며, 관련 분야에 대한 관심도가 유지되는 것으로 보여짐



[그림 2.34] 자가진단기술-세부기술별 특허출원동향

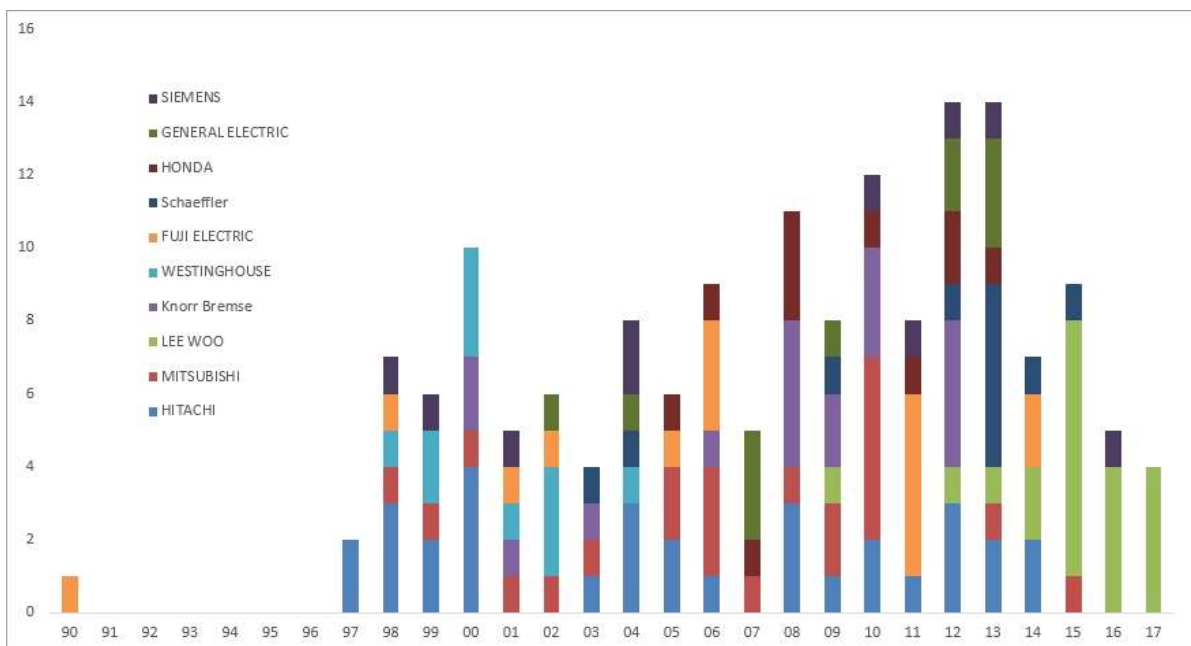
○ 주요 출원인 분석

- 철도차량 검측진단 시스템 기술 분야 전반에 걸쳐 많은 특허를 출원한 상위 10개의 출원인을 분석한 결과, HITACHI, MITSUBISHI 등의 일본기업의 출원 건수가 많고 여러 분야에서 특허출원을 하는 것으로 보아 관련 기술분야의 투자가 원활이 이루어지는 것을 알 수 있음



[그림 2.35] 자가진단기술-주요 출원인 동향

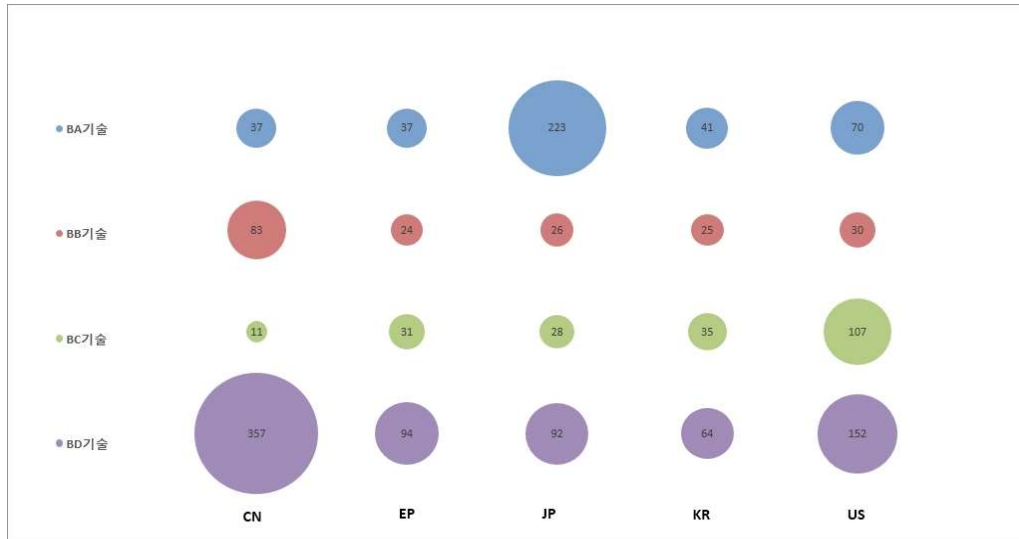
- 주요 출원인의 연도별 특허출원을 보면 최다 출원인인 HITACHI는 2014년 이후 특허출원이 없는 반면, 다양한 업체 및 개인 등에서 특허출원이 활발히 이루어지고 있음



[그림 2.36] 자가진단기술-연도별 주요 출원인 동향

○ 국가별 기술 분포

- 출원국가별 세부기술 특허분포를 살펴본 결과 축상 베어링 손상 자가진단 및 예측기술 (BD기술)에 대해 집중도가 높게 나타나고 있음
- 일본의 경우 차체 및 대차의 외관상태 자가진단 및 예측기술(BA기술)에서 특허가 많이 출원되고 있음



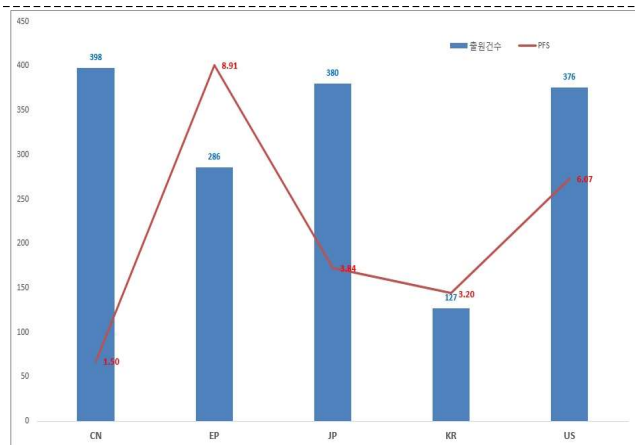
[그림 2.37] 자가진단기술-기술별/국가별 기술 분포(버블형)

○ 국가별 특허분포 지수분석

- 시장확보지수 (PFS : Patent Family Size)

○ (분석결과)

- 유럽의 시장확보지수(PFS)가 8.9로 가장 높게 나타남
- 유럽 다음으로는 미국, 일본의 시장확보력이 높게 나타남
- 유럽의 경우 중국, 일본, 미국 보다 출원건수는 낮지만 시장확보지수는 높은 것으로 보아 패밀리 특허가 많은 것으로 예측됨

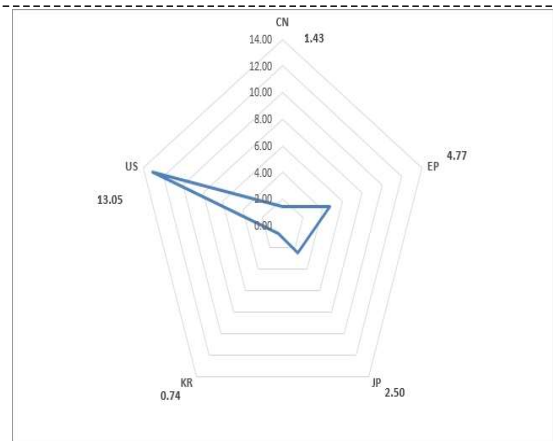


[그림 2.38] 자가진단기술-국가별 출원건수 및 시장 확보 지수

- 인용도지수 (CPP : Cites Per Patent)

○ (분석결과)

- 미국의 인용도지수(CPP)가 13으로 가장 높게 나타남, 미국이 원천특허/핵심특허를 많이 보유한 것으로 판단할 수 있음
- 미국다음으로 유럽, 일본, 중국, 한국 순으로 나타났으며 미국이 다른 네 국가보다 상대적으로 월등히 인용도 지수가 높음

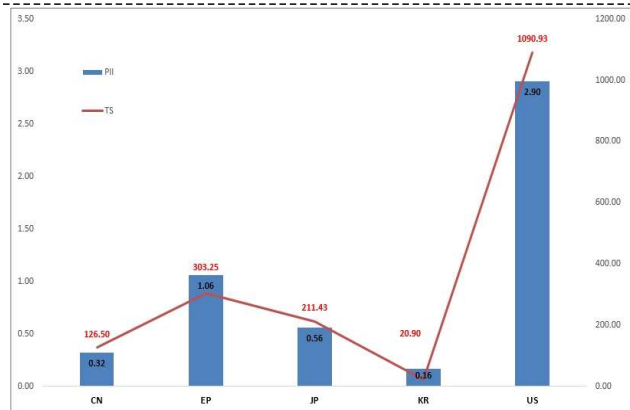


[그림 2.39] 자가진단기술-국가별 인용도지수

- 영향력지수(PII : Patent Impact Index) 및 기술력지수(TS : Technology Strength)

○ (분석결과)

- 미국의 영향력지수(PII)가 2.9로 가장 높게 나타나 질적수준에서 가장 경쟁력 있는 것으로 보임
- 양적 수준(특허건수)을 고려한 기술력 지수(TS)에서도 미국이 1,090건으로 다른 나라에 비해 월등하게 높게 나타남
- 우리나라는 영향력지수, 기술력 지수 모두 최하위 수준으로, 향후 지속적인 기술역량 강화가 필요함



[그림 2.40] 자가진단기술-국가별 영향력지수 및 기술력지수

라. 능동유지보수기술

○ 분석기준

[표 2.12] 능동유지보수기술-특허분석기준

구분	분석 기준				
특허검색 DB	Thomson Innovation				
검색국가	미국	유럽	일본	한국	중국
	출원, 등록	출원, 등록	출원, 등록	출원, 등록	출원, 등록
분석구간	1986.01.01 - 2016.2.20				
검색범위	Text, Abstract				

○ 분석범위(기술별 검색 조합식 및 대상특허건수)

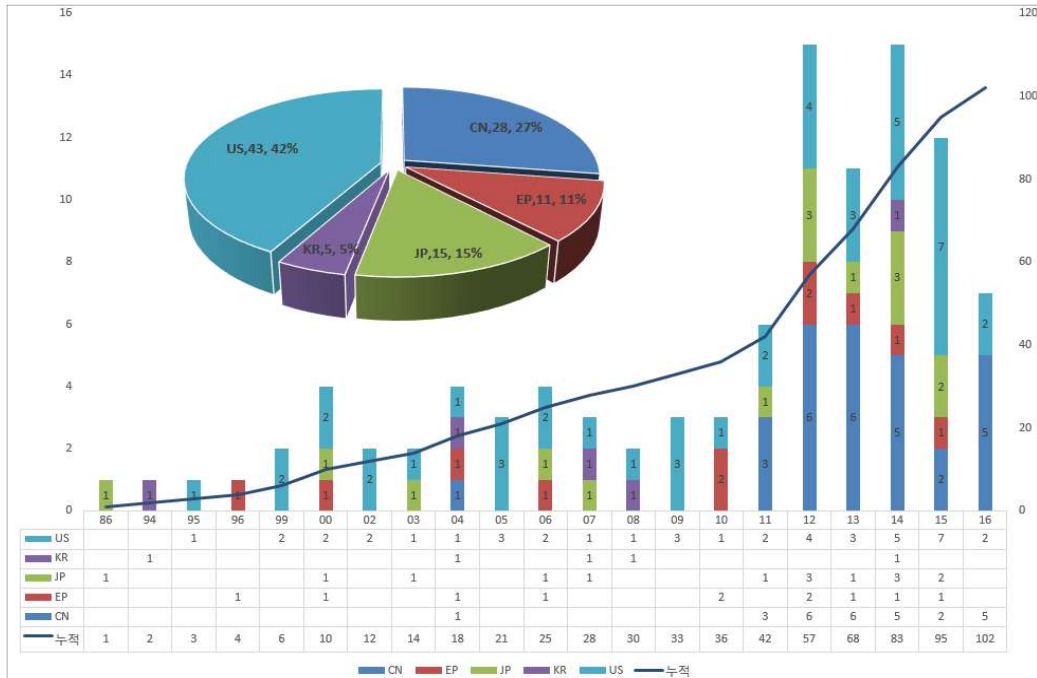
[표 2.13] 능동유지보수기술-특허분석범위

기술구분	검색 조합식	대상 특허건수
C. 능동유지 보수기술	CA. 일상/월상 유지보수 스케줄링 기술(비용/시간) ALL=((railway or railroad or train or locomotive or railcar) and (schedul* or plan*) and (inspect* or mainten*) and reduct*)	69 건
	CB. 모바일기반 유지보수 지원 시스템 기술 ALL=((railway or railroad or train or locomotive or railcar) and mobil* and (mainten* or inspect*))	33건

○ 국가별/기술별 특허동향분석 (출원년도 및 국가별 특허출원 동향)

- 능동유지 보수기술분야의 특허동향을 살펴보면, 현재까지 102건의 특허가 출원되고 있으며, 2,010년부터 특허 출원이 급격히 증가되고 있음
- 국가별 출원현황을 보면 미국이 42%(43건)로 최대 출원국이며, 중국, 일본, 유럽, 한국의 순서로 출원이 이루어지고 있음
- 미국은 최근까지 가장 높은 출원비중을 보였으며, 출원수도 증가추세로 나타나 여전히 이 분야의 선도국가로 보여짐

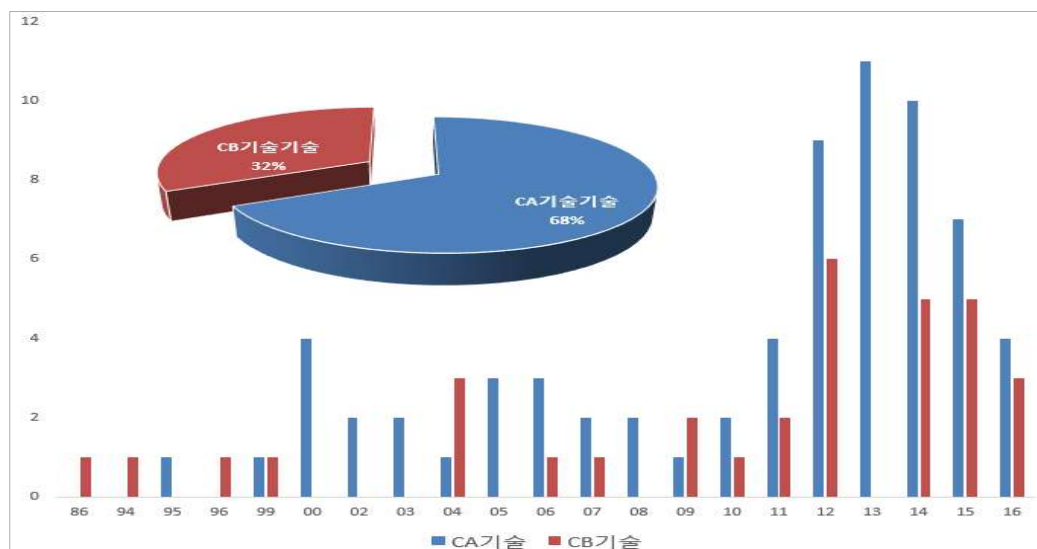
- 중국은 2,000년대 후반 이후부터 출원활동을 꾸준히 증가시키고 있음
- 우리나라는 전체적으로 특허출원이 미미한 것으로 보아 기술력이 다른 국가들보다 낮은 것으로 볼 수 있음.



[그림 2.41] 농동유지보수기술-출원년도 및 국가별 출원추이

○ 세부기술별 특허출원 동향

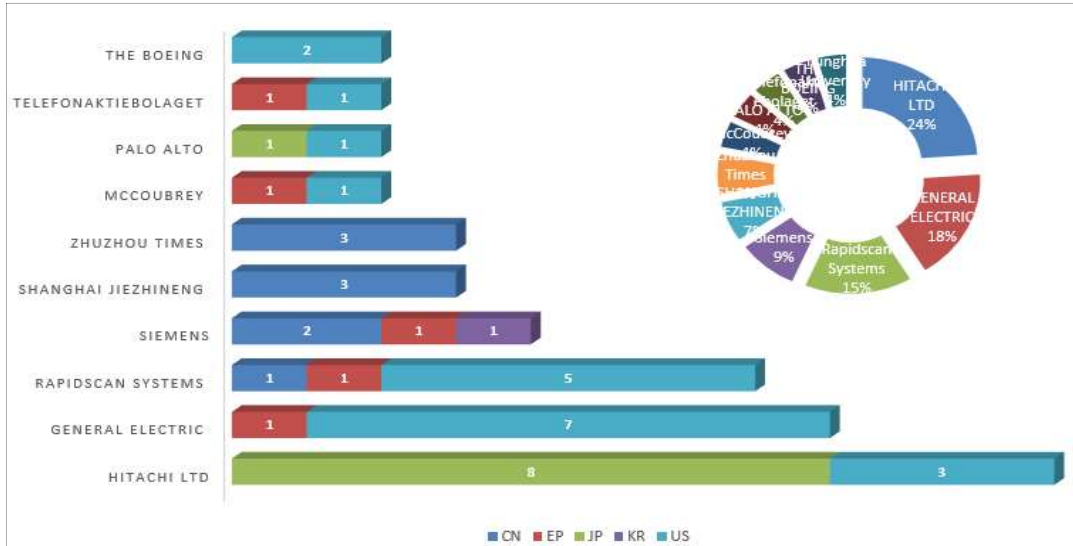
- 일상/월상 유지보수 스케줄링 기술(CA기술)의 특허출원 비중이 가장 높으며 모바일기반 유지보수 지원 시스템기술(CB기술) 특허출원이 다소 부족한 것으로 보이고 있음



[그림 2.42] 농동유지보수기술-세부기술별 특허출원동향

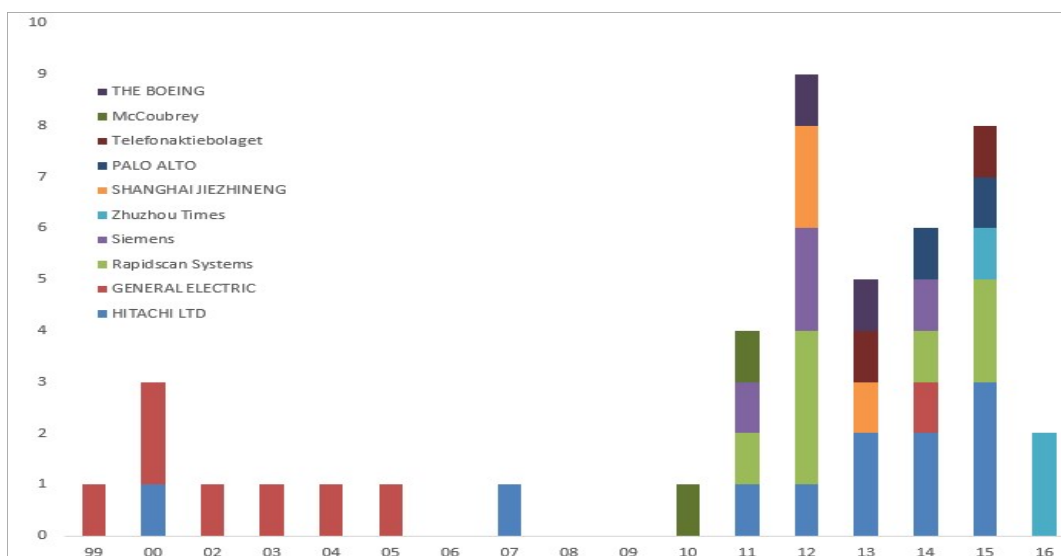
○ 주요 출원인 분석

- 철도차량 검측진단 시스템 기술 분야 전반에 걸쳐 많은 특허를 출원한 상위 10개의 출원인을 분석한 결과, 일본의 HITACHI사와 미국의 GENERAL ELECTRIC사가 선두를 달리고 있으며, 대체적으로 일본의 특허출원의 점유율이 높음



[그림 2.43] 능동유지보수기술-주요 출원인 동향

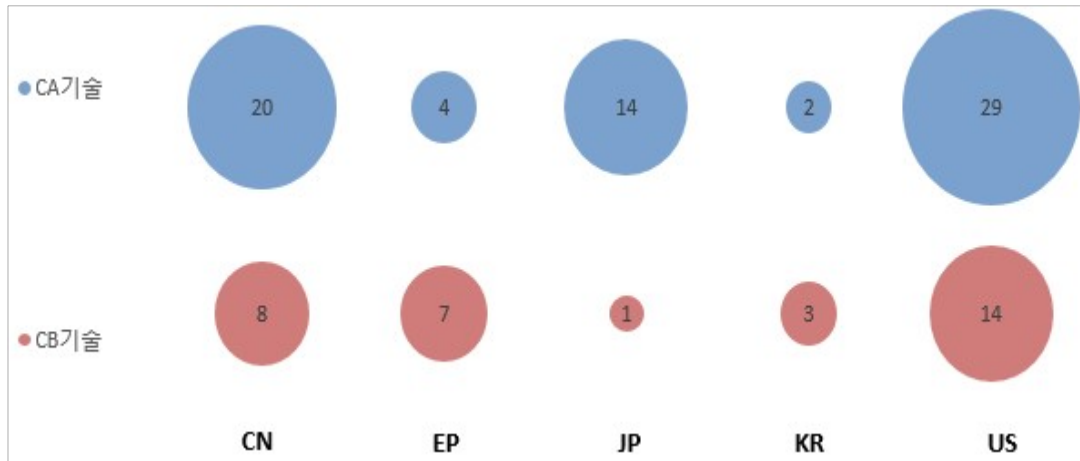
- 주요 출원인의 연도별 특허출원을 보면 최다 출원인인 HITACHI는 2010년 이후 특허출원이 증가하였으며, GENERAL ELECTRIC의 특허출원은 2000년대 후반 이후로, 특허출원이 다소 잠잠하고 있음. 이와 반대로 Rapid Systems은 3위를 기록하고 있으나, 최근 특허출원이 지속적으로 이어져 있어, 2위로 상승할 것으로 예상됨



[그림 2.44] 능동유지보수기술-연도별 주요 출원인 동향

○ 국가별 기술 분포

- 출원국가별 세부기술 특허분포를 살펴본 결과 일상/월상 유지보수 스케줄링 기술(CA 기술)에 대한 집중도가 높게 나타나고 있음
- 출원은 일상/월상 유지보수 스케줄링 기술(CA기술)분야에서 가장 낮고 모바일기반 유지보수 지원시스템기술(CB)에서도 일본에 이어 낮은 출원율을 보이고 있음



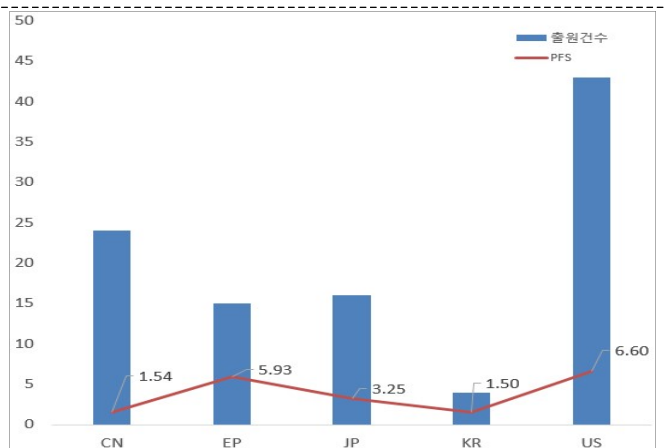
[그림 2.45] 능동유지보수기술-기술별/국가별 기술 분포(버블형)

○ 국가별 특허분포 지수분석

- 시장확보지수 (PFS : Patent Family Size)

○ (분석결과)

- 미국의 시장확보지수(PFS)가 6.6으로 가장 높게 나타남
- 미국 다음으로는 유럽, 일본의 시장확보력이 높게 나타남
- 미국 경우 높은 건수에 비례해 시장확보력이 매우 높게 나타나고 있음

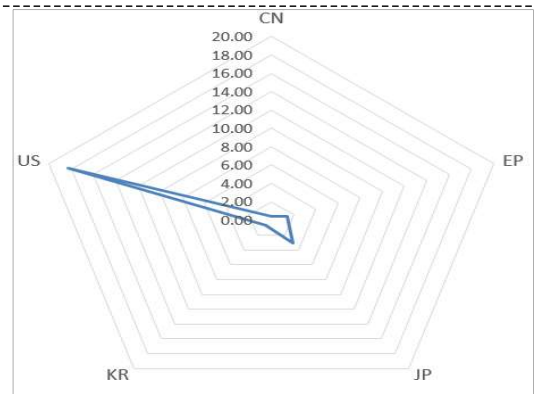


[그림 2.46] 능동유지보수기술-국가별 출원건수 및 시장 확보 지수

- 인용도지수 (CPP : Cites Per Patent)

○ (분석결과)

- 미국의 인용도지수(CPP)가 18.3로 가장 높게 나타남, 미국이 원천특허/핵심특허를 많이 보유한 것으로 판단할 수 있음
- 미국다음으로 일본, 유럽, 한국, 중국순으로 나타났으며 미국이 다른 네 국가보다 상대적으로 월등히 인용도 지수가 높다

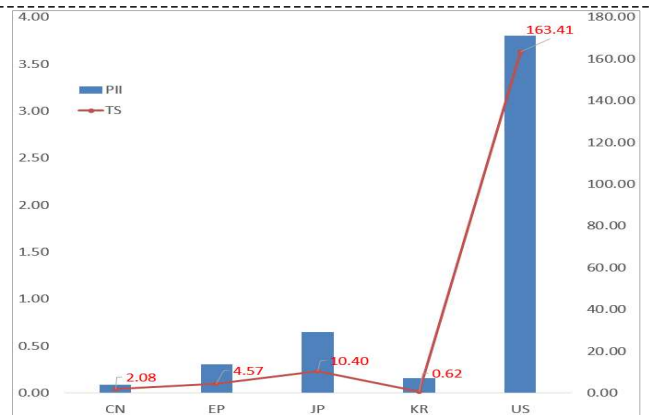


[그림 2.47] 능동유지보수기술
- 국가별 인용도지수

- 영향력지수(PII : Patent Impact Index) 및 기술력지수(TS : Technology Strength)

○ (분석결과)

- 미국의 영향력지수(PII)가 3.8로 가장 높게 나타나 어느 면에서나 가장 경쟁력 있는 것으로 보임
- 양적 수준(특허건수)을 고려한 기술력지수(TS)에서도 미국이 163.4로 다른 나라에 비해 월등하게 높게 나타남
- 우리나라는 영향력지수, 기술력 지수 모최하위 수준으로, 향후 지속적인 기술역량 강화가 필요함



[그림 2.48] 능동유지보수기술-국가별
영향력지수 및 기술력지수

2. 논문동향

가. 지능형 센싱기술

○ 분석기준

[표 2.14] 지능형 센싱기술-논문분석기준

구 분	분석 기준
논문검색 DB	Thomson Innovation
분석구간	1990.01.01.~2016.2.20
검색범위	Text, Abstract

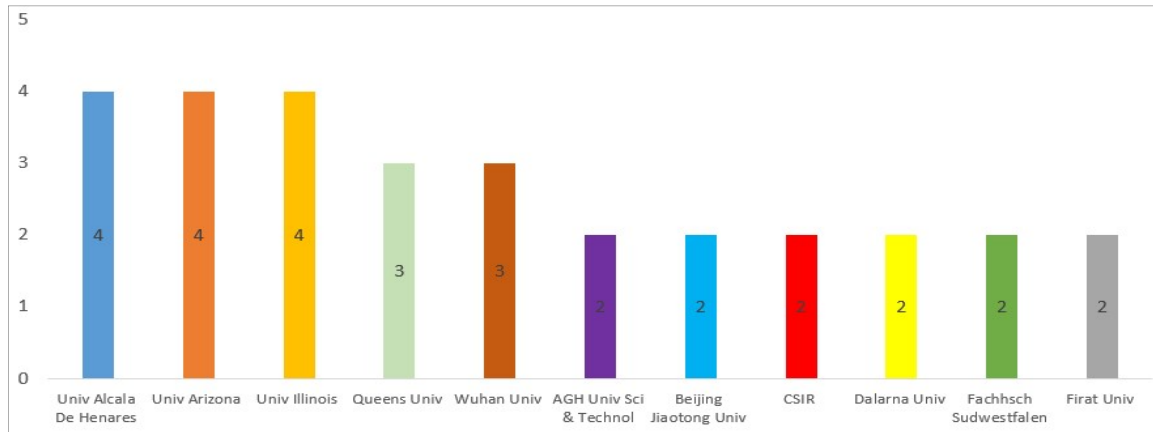
○ 분석범위(기술별 검색 조합식 및 대상논문건수)

[표 2.15] 지능형 센싱기술-논문분석범위

기술구분	검색 조합식	대상 논문 건수	유효 논문 건수
A. 지능형 센싱기술	AA. 자체/대차/판토 외관검사를 위한 머신비전 기술 ALL=((railway or railroad or locomotive or railcar) and inspect* and ((vision or visual) adj (sens* or monito*)))	26	24
	AB. 차륜/제륜자/디스크 형상측정을 위한 레이저스캔 기술 ALL=((railway or railroad or locomotive or railcar) and (laser adj scan*))	63	58
	AC. 차량하부 이상발열 측정을 위한 적외선 센싱기술 ALL=((railway or railroad or locomotive or railcar) and (infrared adj sens*))	27	25

○ 논문 주요 발표기관 동향

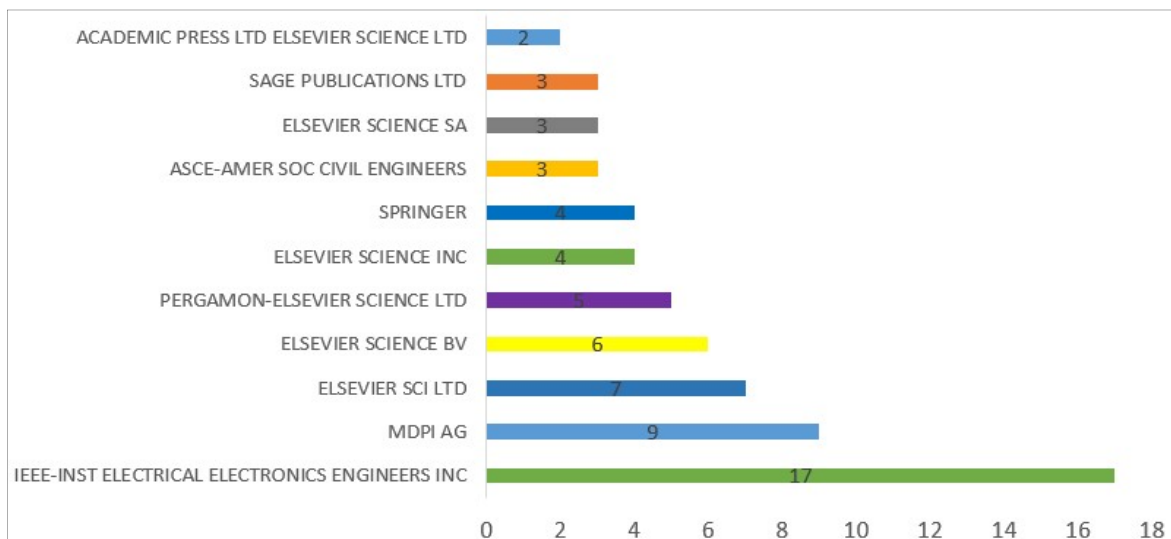
- 지능형 센싱 기술 분야를 살펴보면 1990년부터 현재까지 총 116건의 관련 논문이 발표되고 있음
- 스페인의 Univ Alcala De Henares, 미국의 Univ Arizona 및 Univ illinois에서의 논문 발표가 4건으로 선두를 점유하고 있으며, 그 뒤를 대학, 기관 및 기업들이 따르고 있음



[그림 2.49] 지능형 센싱기술-논문 주요 발표기관 추이

○ 출판 저널 동향

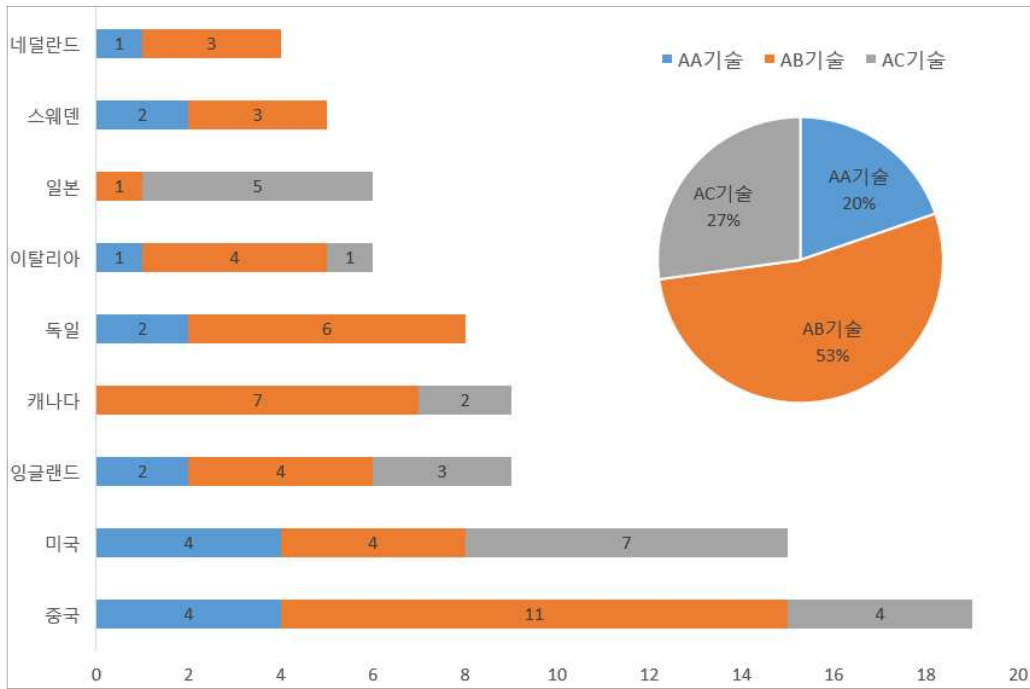
- 지능형 센싱 기술 분야 출판 저널 추이를 살펴보면, IEEE에서의 건수가 17건으로 다른 출판 저널보다 압도적으로 많은 것을 확인할 수 있음



[그림 2.50] 지능형 센싱기술-출판 저널 추이

○ 기술별 논문 발표 국가 동향

- 검색 유효 논문은 중국이 19건으로 다른 국가들보다 많은 수의 논문발표를 하고 있으며, 뒤를 이어 미국, 잉글랜드가 각각 2위와 3위로 논문을 발표 하고 있음. 한국은 순위권에 들지 못하는 상황임



[그림 2.51] 지능형 센싱기술-기술별 논문 발표 국가 추이

나. 이동식 자동검측기술

○ 분석기준

[표 2.16] 이동식 자동검측기술-논문분석기준

구 분	분석 기준
논문검색 DB	Thomson Innovation
분석구간	1990.01.01.~2016.2.20
검색범위	Text, Abstract

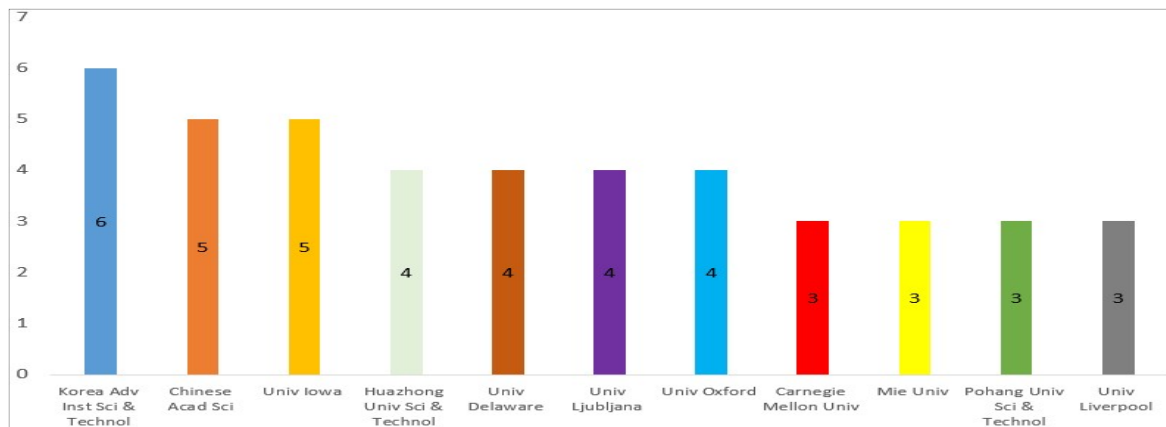
○ 분석범위(기술별 검색 조합식 및 대상논문건수)

[표 2.17] 이동식 자동검측기술-논문분석범위

기술구분	검색 조합식	대상 논문 건수	유효 논문 건수
D.이동식 자동검측기술	DA. 이동식 자동검측기술 ALL=((railway or railroad or train or locomotive or railcar)) AND TI=((mobil* and robot*)) NOT TI=((injury or harzard or disease or cure or patient or injection or animal))	156	136
	DB. 자동형상 및 치수측정기술 ALL=((railway or railroad or train or locomotive or railcar) and (autom* and (dimensio* adj measure*)) NOT (injury or harzard or disease or cure or patient or injection or animal))	215	180

○ 논문 주요 발표기관 동향

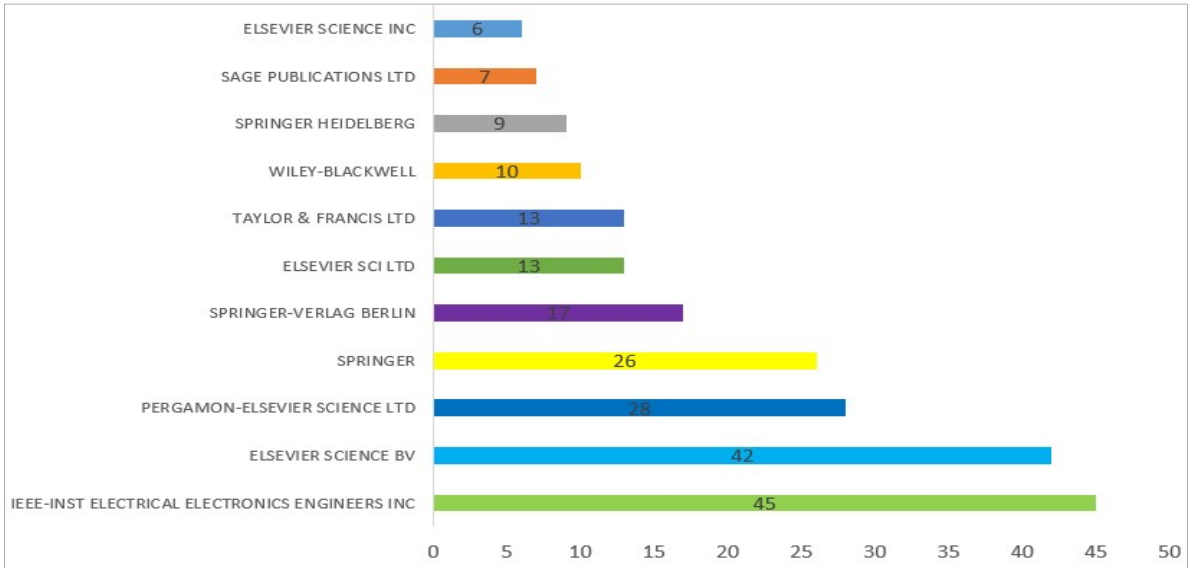
- 이동식 자동검측 기술 분야를 살펴보면 1990년부터 현재까지 총 371건의 관련 논문이 발표되고 있음
- 한국에서는 KAIST에서의 논문 발표가 선두를 점유하고 있으며, 그 뒤를 이어 중국의 Acad Sci와 미국의 Univ. Iowa가 그 뒤를 따르고 있음



[그림 2.52] 이동식 자동검측기술-논문 주요 발표기관 추이

○ 출판 저널 동향

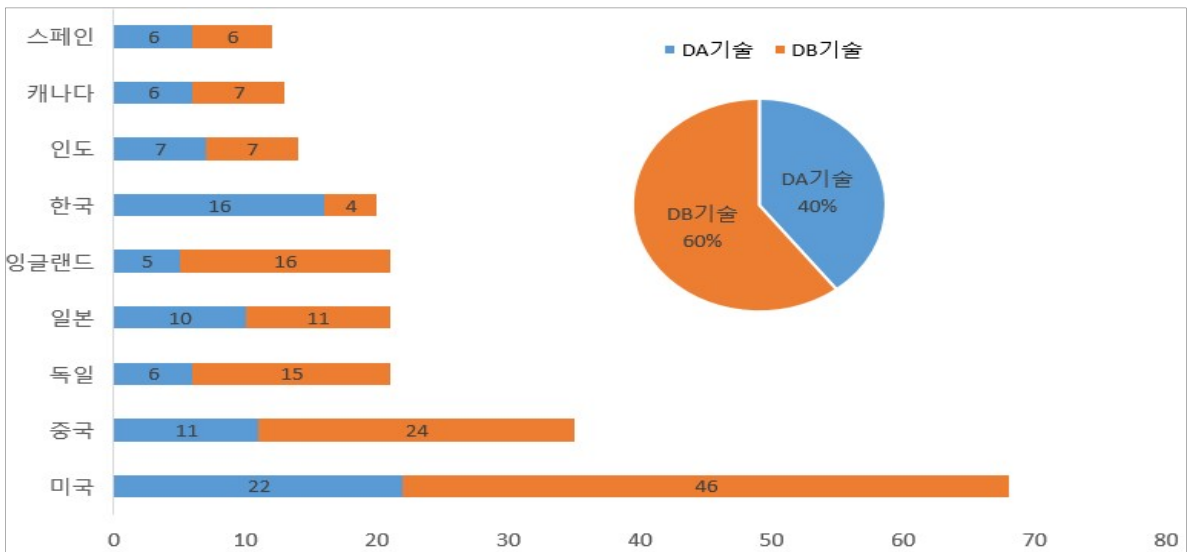
- 이동식 자동검측 기술 분야 출판 저널 추이를 살펴보면, IEEE 및 ELSEVIER SCIENCE BV에서의 건수가 다른 출판사 보다 압도적으로 많음



[그림 2.53] 이동식 자동검측기술-출판 저널 추이

○ 기술별 논문 발표 국가 동향

- 검색 유효논문은 미국이 68건으로 다른 국가들보다 많은 수의 논문발표를 하고 있으며, 뒤를 이어 미국, 독일이 각각 2위와 3위로 논문을 발표하고 있음. 한국은 총합 20건의 유효논문이 있으며, 중하위권임



[그림 2.54] 이동식 자동검측기술-기술별 논문 발표 국가 추이

다. 빅데이터분석 기반 철도부품 자가진단 기술

○ 분석기준

[표 2.18] 자가진단기술-논문분석기준

구분	분석 기준
논문검색 DB	Thomson Innovation
분석구간	1990.01.01 - 2016.2.20
검색범위	Text, Abstract

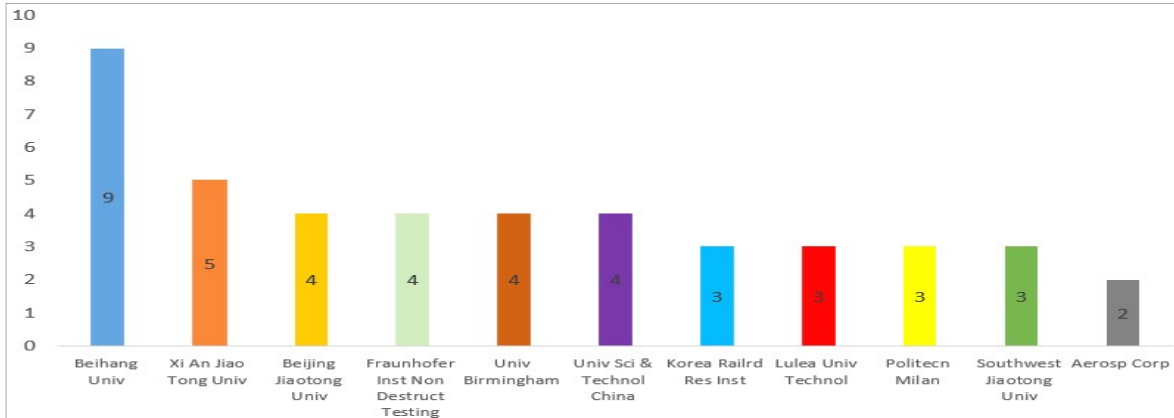
○ 분석범위(기술별 검색 조합식 및 대상논문건수)

[표 2.19] 자가진단기술-논문분석범위

기술구분	검색 조합식	대상 논문 건수	유효 논문 건수
B. 빅데이터 기반 철도부품의 자가진단 기술	BA. 차체 및 대차의 외관상태 자가진단 및 예측 기술 ALL=((railway or railroad or train or locomotive or railcar) and (diagnos* or inspect* or mainten*) and (carbody or bogie))	58	56
	BB. 차륜 손상 자가진단 및 예측 기술 ALL=((railway or railroad or train or locomotive or railcar) and (inspect* or mainten* or diagnos*) and wheel)	326	320
	BC. 제동 장치 손상 자가진단 및 예측 기술 ALL=((railway or railroad or train or locomotive or railcar) and (inspect* or mainten* or diagnos*) and (brake or disk))	149	142
	BD. 축상 베어링 손상 자가진단 및 예측기술 TI((((railway or railroad or train or locomotive or railcar) and (inspect* or diagnos*) and bearing)) NOT ALL=((injury or disease or cure or patient or brain or womenor ADJ children or cancer or fuzzy or education))	18	18

○ 논문 주요 발표기관 동향

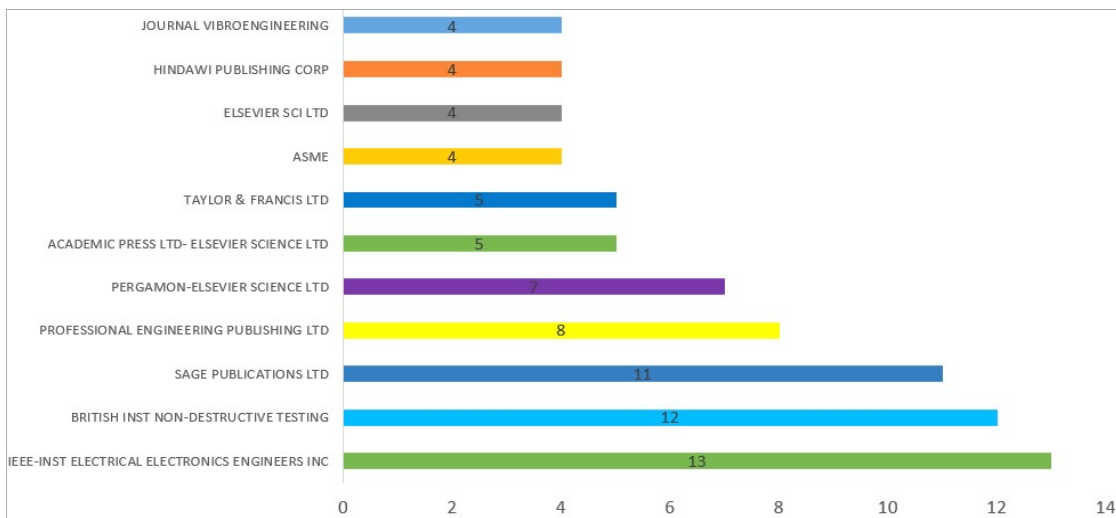
- 빅데이터 기반 철도부품 자가진단 기술 분야를 살펴보면 1990년부터 현재까지 총 551건의 관련 논문이 발표되었음
- 중국의 Beihang Univ.에서의 논문 발표가 선두를 유지하고 있으며, 그 뒤를 이어 중국의 Xi An Jiao Tong Univ. 및 Beijing Jiao tong Univ.이 따르고 있음



[그림 2.55] 자가진단기술-논문 주요 발표기관 추이

○ 출판 저널 동향

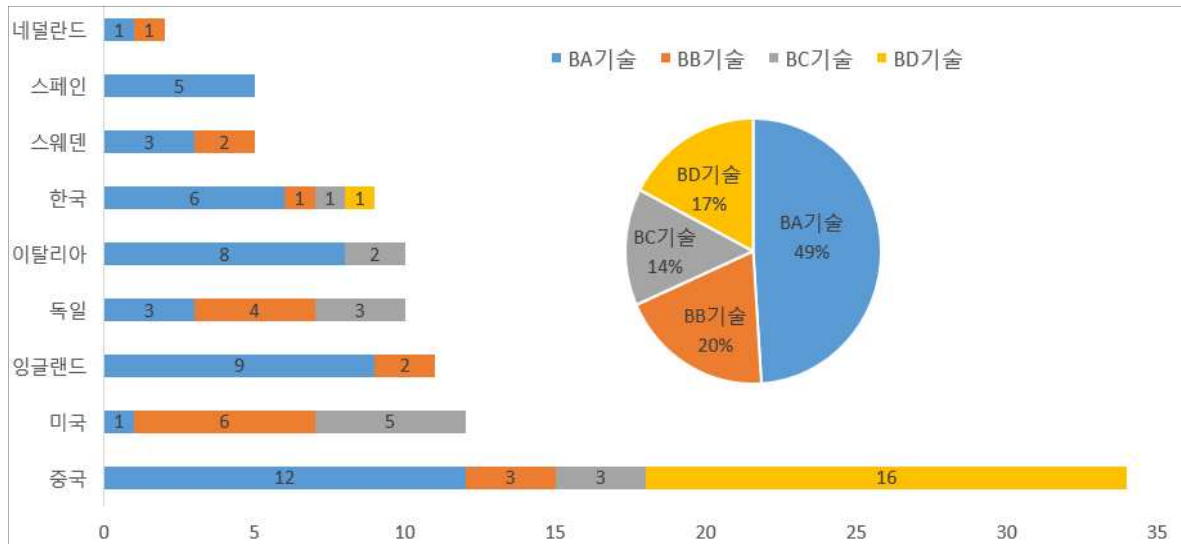
- 데이터 기반 철도부품 자가진단 기술 분야 출판 저널 추이를 살펴보면, IEEE 및 BRITISH INST NON-DESTRUCTIVE TESTING에서의 건수가 다른 출판사 보다 다소 많은 것을 확인할 수 있음



[그림 2.56] 자가진단기술-출판 저널 추이

○ 기술별 논문 발표 국가 동향

- 검색 유효논문은 중국이 34건으로 다른 국가들보다 많은 수의 논문발표를 하고 있으며, 뒤를 이어 미국, 잉글랜드가 각각 2위와 3위로 논문을 발표하였음. 한국은 총합 9건의 유효논문이 검색되었고 중하위권임



[그림 2.57] 자가진단기술-기술별 논문 발표 국가 추이

라. 능동유지보수기술

○ 분석기준

[표 2.20] 능동유지보수기술-논문분석기준

구 분	분석 기준
논문검색 DB	Thomson Innovation
분석구간	1990.01.01 - 2016.2.20
검색범위	Text, Abstract

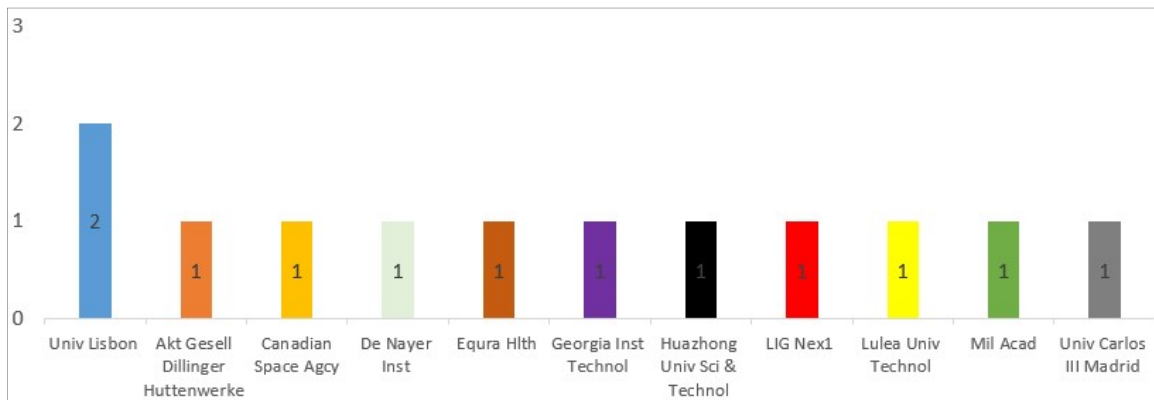
○ 분석범위(기술별 검색 조합식 및 대상논문건수)

[표 2.21] 능동유지보수기술-논문분석범위

기술구분	검색 조합식	대상 논문 건수	유효 논문 건수
C. 능동유지 보수기술	CA. 일상/월상 유지보수 스케줄링 기술(비용/시간) ALL=((railway or railroad or train or locomotive or railcar) and (schedul* or plan*) and (inspect* or mainten*) and reduct*)	136	12
	CB. 모바일 유지보수 지원 시스템기술 ALL=((railway or railroad or train or locomotive or railcar) and mobil* and (mainten* or inspect*))	194	9

○ 논문 주요 발표기관 동향

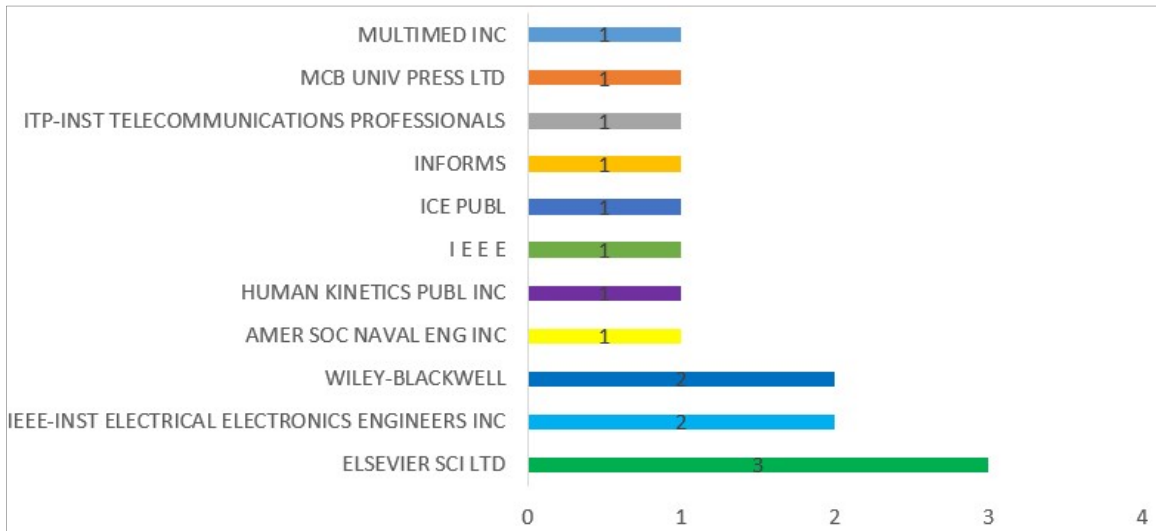
- 능동유지보수 기술 분야 논문 추이를 살펴보면, 1990년부터 현재까지 총 330건의 관련 논문이 발표되었음
- 한개 기관에서의 다수논문이 발표된 동향은 보이지 않음



[그림 2.58] 능동유지보수기술-논문 주요 발표기관 추이

○ 출판 저널 동향

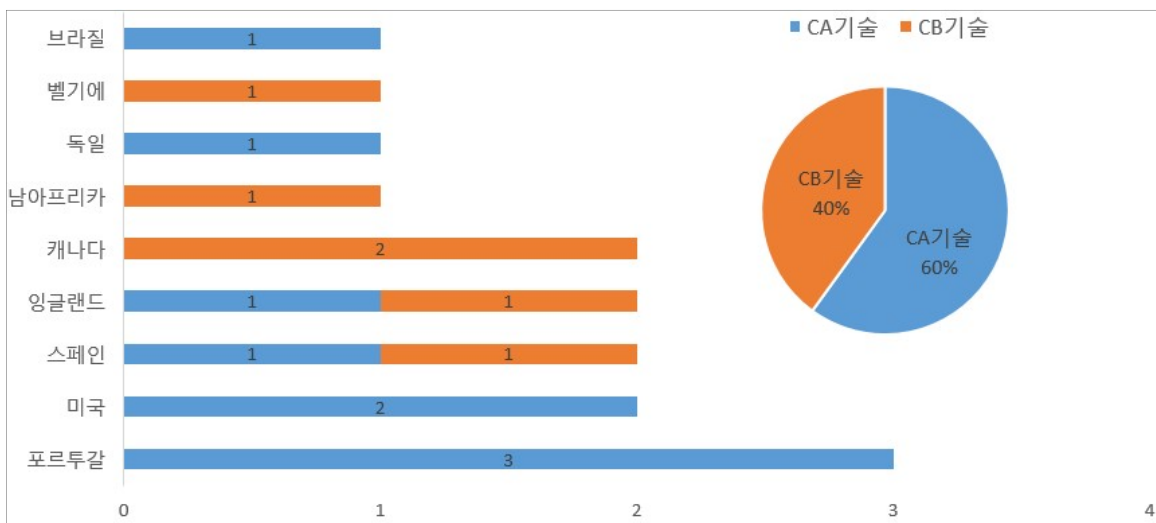
- 능동유지보수 기술 분야 출판 저널 추이를 살펴보면, ELSEVIER SCILTD의 건수가 많으며 대체적으로 1~2건 정도의 차이만 보이고 있음. 이는 유효 논문건수가 매우 작음으로 산포되어진 것으로 보임



[그림 2.59] 능동유지보수기술-출판 저널 추이

○ 기술별 논문 발표 국가 동향

- 적은 수의 유효 논문으로 인해 이 분야에서의 선두 논문 발표 국가의 동향을 파악하기는 어렵지만, 검색되어진 유효논문으로는 포르투갈이 논문 발표 3건으로 상위권으로 차지하고 있고 미국, 스페인, 잉글랜드, 캐나다에서 2건을 기록함



[그림 2.60] 능동유지보수기술-기술별 논문 발표 국가 추이

3. 연구개발 동향

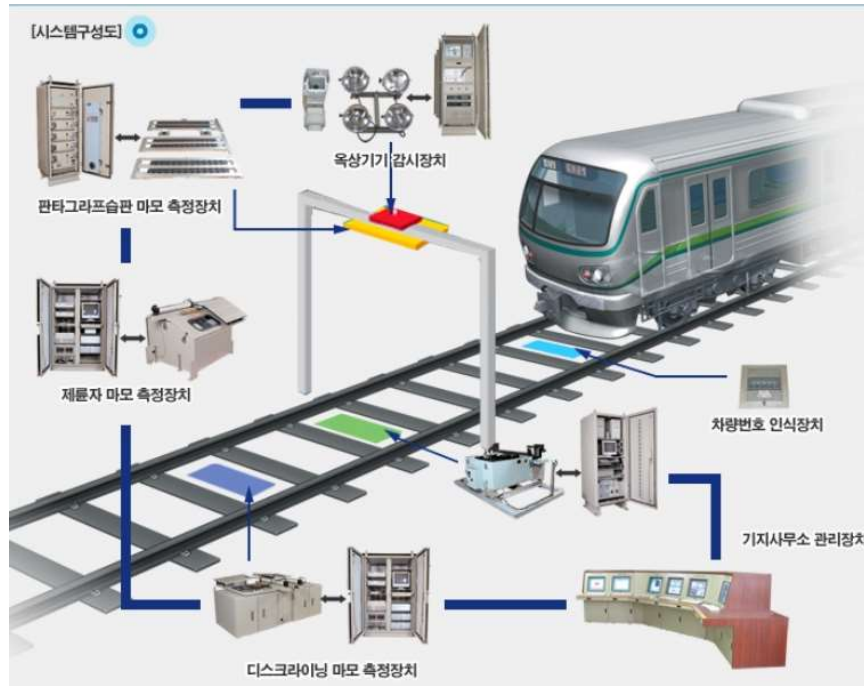
가. 지능형 센싱기술

- 전 세계적으로 열차의 중량 및 속도 증가, 서비스 품질 및 안전에 대한 요구가 증가함에 따라 철도 시스템의 많은 구성요소의 상태에 대한 정보를 모니터링하고 진단하는 기능 요구가 증대하고 있음. 현재 철도분야에서는 전통적으로 상태파악에 자주 이용되는 물리량을 기반으로 한 센서가 활용되고 있음. 센서의 출력 값은 측정이 용이한 전압 혹은 저항의 변화이며, 이러한 변화를 감지하여 시스템의 상태를 파악하고 있음

[표 2.22] 센서 종류와 출력

물리량	센서	출력
온도 (Temperature)	열전대 (Thermocouple)	전압(Voltage)
	실리콘 (Silicon)	전압/전류 (Voltage/Current)
	저항측온기 (Resistance temperature detector)	저항(Resistance)
	서미스터 (Thermistor)	저항(Resistance)
힘(Force)/ 압력(Pressure)	스트레인 게이지 (Strain Gauge)	저항(Resistance)
	피에조 (Piezoelectric)	전압(Voltage)
가속도(Acceleration)	가속도계(Accelerometer)	커패시턴스 (Capacitance)
유량(Flow)	트랜스미터(Transmitter)	전압(Voltage)
	트랜스듀서(Transducer)	전압/전류 (Voltage/Current)
위치(Position)	변위 측정 자기센서(Linear Variable Differential Transformers (LVDT))	교류전압 (AC Voltage)
조도(Light Intensity)	포토다이오드(Photodiode)	전류(Current)

- 한편 IoT, 머신비전, ICT, AI 등의 기술이 급속히 발전함에 따라 과거 비용적인 문제로 인하여 실제 현장에 적용되지 못했던 머신비전기술, 열화상 기술 등도 철도 현장에서 실용적으로 적용되고 있음



[그림 2.61] 철도차량 일상검수장치(예)

- 머신비전 기술⁸⁾은 제품의 불량 검사, 자동 분류, 품질 검사, 인식 등의 다양한 분야에 널리 사용되어온 기술로 그간 공장 자동화 및 제품 품질 향상 등에 크게 기여해 온 기술임. 머신러닝 기법을 적용함으로써 전자동으로 검사가 가능해져서 품질 향상 및 생산성 향상이 가능해지고 있음. 최근 상대적으로 가격이 저렴한 고해상도 기술의 개발에 따라 구조물의 영상 기반 안전 진단, 의료 영상 기반의 자동 질병 진단 등의 여러 분야에도 머신러닝 기반 머신비전 기술이 널리 적용되기 시작함



[그림 2.62] 머신비전 기술

8) 출처: 머신 러닝 기반 머신 비전 최신 기술 동향

- 머신비전 관련 연구로는 OLED 패널의 결함검사, 직물(fabric) 생산공정에서의 품질관리, 터널의 결함검사, 금속표면의 결함검출, 용접부 결함검출 등에 대한 연구가 진행되고 있으며, 의료 영상을 바탕으로 진단 수행을 돕는 영상기반 진단분야에도 활용됨
- 3차원 영상정보를 이용하여 브레이크 패드의 균열 및 치수검사
- 자동차업계에서 로봇에 의한 자동화와 함께 외관의 품질관리 관점에서 삼차원 영상측정 기술 활용
- 유광체의 표면 거칠기(Roughness) 검사 활용. 작업자의 평가와 유사한 경향을 확인함으로써 성능이 입증됨

▶ 브레이크 패드 검사

브레이크 패드 검사

검사 제품

• 차량용 Brake PAD

검사 항목

• Full Surface Height
• Pin 유무, Assembly 두께, 치수 측정

Crack
검사

Pin
검사

<리온피플 : Edge 영상 우수>

<경정사 : Edge 영상 불량>

※ ※ Why ? LAONPEOPLE 3D CAMERA ※ ※

• 3D Camera 시스템의 장점

	2D Camera	Spot Laser Sensor	3D Camera
전체 표면 높이 검사	불가	삼출입 검사만 가능	가능
전체 표면 높이 검사 시간	불가	오래 걸림	짧음
상단 Random 할상 불량	조명 조건 까다로움	어려움	가능
측면 할상 불량	측면 검사용 추가 설치	어려움	가능

YES

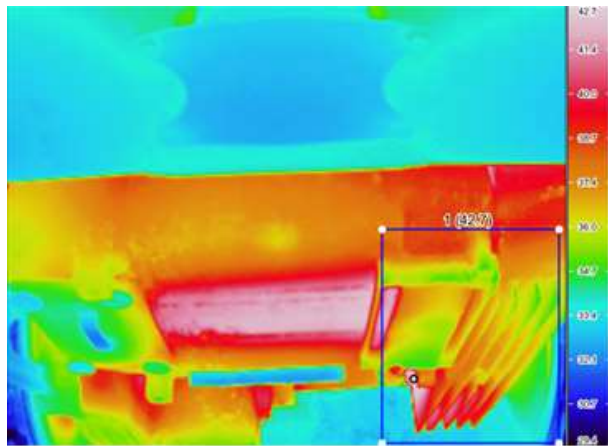
[그림 2.63] 3차원 영상정보를 이용하여 브레이크 패드 검사

- 한국철도기술연구원에서는 고속 주행 중인 철도차량의 안전성 확보를 위해 철도차량 중요 장치의 상태를 자동으로 센싱, 측정된 데이터를 무선방식으로 전송하는 ‘철도시스템 미래형 무선 스마트 autonomous 센싱 기술’을 개발(2012.7-2017.6)하고 있음. 이 기술은 고속으로 주행하는 철도차량과 같이 가혹한 무선 통신 환경에서 견딜 수 있는 동시에 주변 에너지를 통해 스스로 전원을 생산하는 자가발전 기술 개발과 실시간 센싱과 초저전력 무선통신 기술 개발을 기반으로 각 모듈이 일체화돼 자동으로 구동되도록 하고 있음



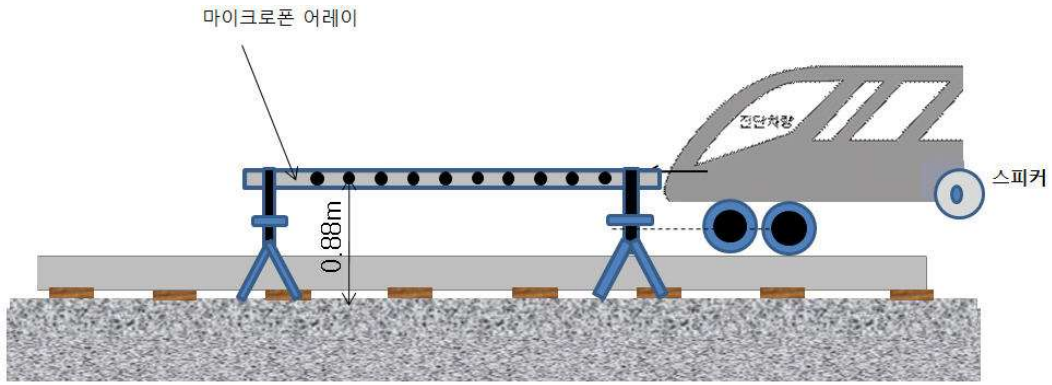
[그림 2.64] 철도시스템 미래형 무선 스마트 autonomous 센싱 기술

- 적외선 열화상기술은 적외선 카메라를 적용하여 얻어진 온도분포 이미지를 활용하여 구조물의 이상을 진단하는 비파괴 검사방법임. 구조물에 발생하는 온도 신호를 활용하여 결함, 균열, 열화 상태, 전기선 연결 상태, 접합부 계면 분리 등 다양한 상태를 분석 평가 할 수 있으며, 또한 시험 대상 물체의 열적 특성도 분석 할 수 있음. 최근 한국철도기술연구원에서는 적외선 카메라를 이용한 차량 하부 부품 이상 검사시스템을 개발함으로써 적외선 기술의 철도분야 적용 가능성을 확인하였음 (2014)

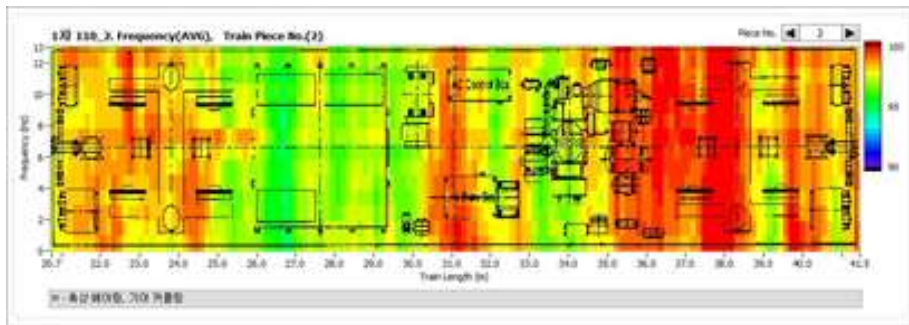


[그림 2.65] 적외선 열화상 카메라를 이용한 차량하부 발열상태 모니터링

- 또한 한국철도기술연구원에서는 음향홀로그래피법을 이용하여 철도차량의 축베어링을 대상으로 현장시험을 통한 결함신호 위치 및 주기 검출 방법을 수행하였음. 이때 문제가 되는 소음원의 위치를 추적하기 위하여 각 주파수 대역별로 홀로그램을 생성, 이를 평균하여 주요 소음원 이외의 잡음의 영향을 감소시켰음(2014)

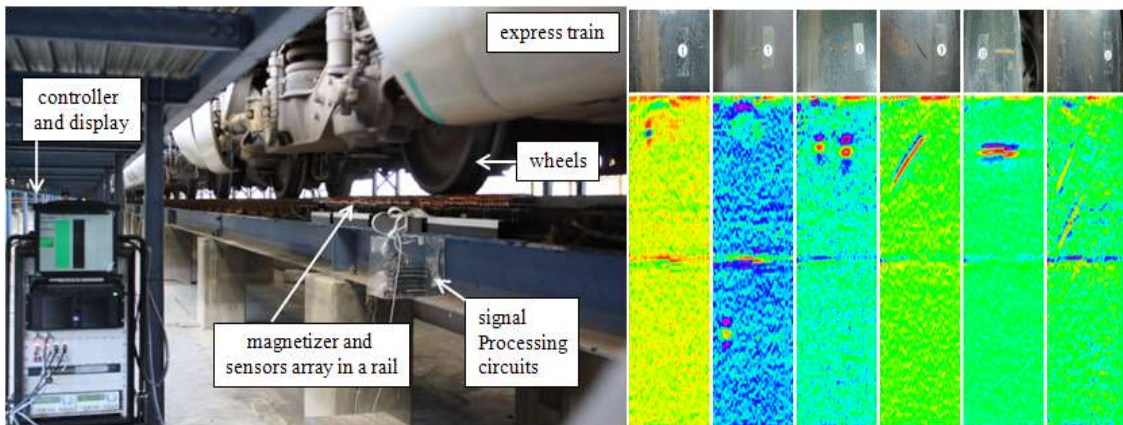


[그림 2.66] 음향홀로그래피법을 이용한 철도차축베어링 이상 진단



[그림 2.67] 음향홀로그래피를 이용한 차량하부 소음상태평가

- 한국철도기술연구원에서는 최대 40km/h로 진입하는 차량의 차륜 표면을 레일에 2차원으로 배열된 전자기센서를 이용하여, 최대 공간분해능 780 μ m의 자기영상을 취득할 수 있고 균열을 탐상할 수 있는 레일 설치형 차륜 답면 탐상용 시스템을 개발하였음



[그림 2.68] 레일 설치형 차륜 답면 탐상용 시험

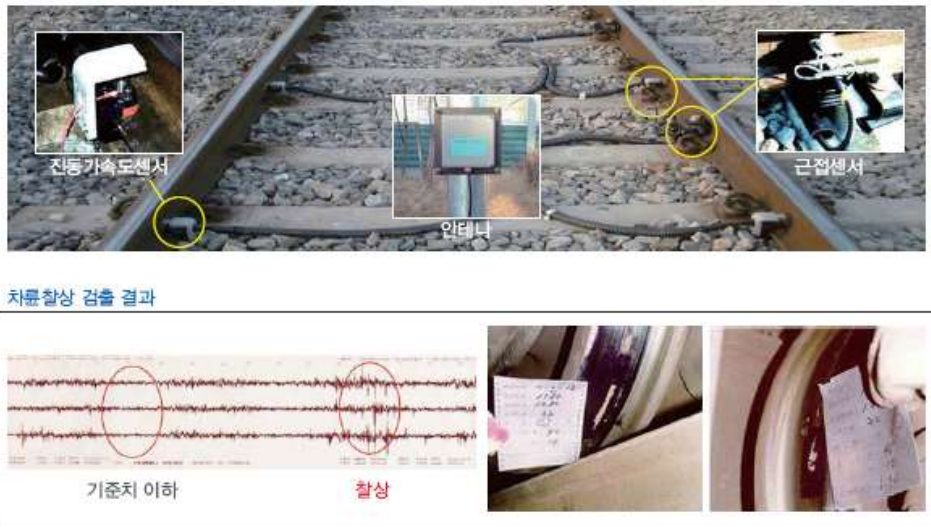
- (주)에코마이스터는 전자기 유도 초음파법 (Electro-Magnetic Acoustic Transducer, EMAT)에 의한 차륜 결함검사장치 (Automatic Wheel Measuring System)를 개발하였으며, 최고 5.4 km/h 차륜 회전속도에서 횡단 표면균열길이 10mm 이상, 표면결함

10mm 이상의 결함 검출을 확인하였음



[그림 2.69] 차륜결함검사장치

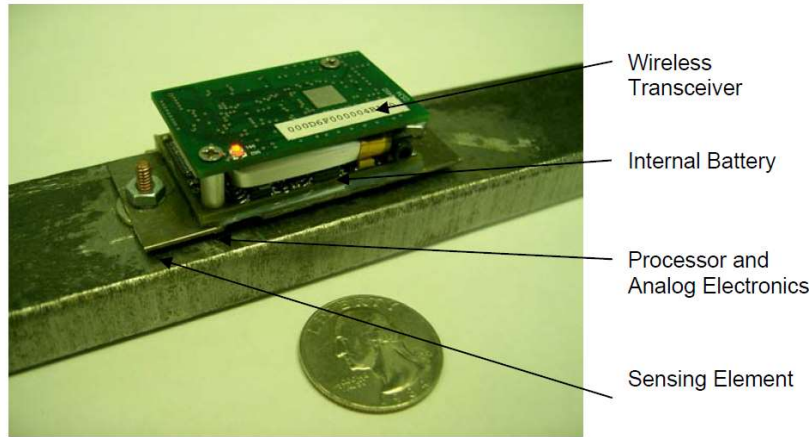
- 살룸엔지니어링은 일상검사장치(ITIS)로서 고감도 진동가속도계에 의한 차륜속도, 진동, 이상 및 충격을 검지하여 차륜의 찰상을 차륜별, 편성별로 통합 관리하는 시스템을 보유하고 있으며 균열길이 20mm 이상, 균열폭 10mm 이상의 차륜결함을 탐상할 수 있음



[그림 2.70] 차륜 진동 감지장치

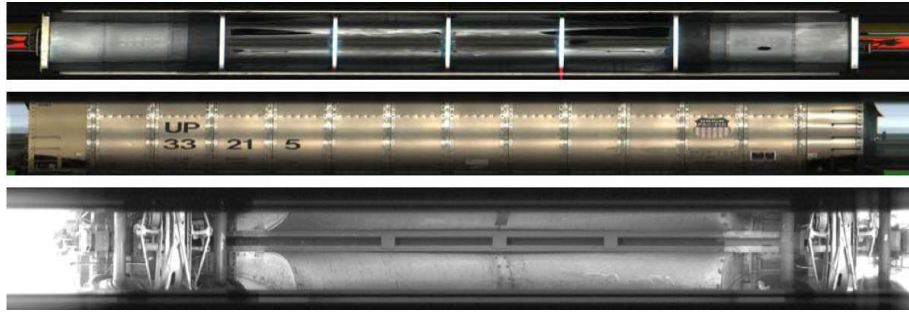
- 판타그래프 습판마모 측정장치는 철도공사 이문기지와 부산교통공사 대저기지에 사용하고 있으며, 일본 긴테츠 차량엔지니어링의 전하 결함소자가 장착된 카메라를 이용한 영상 감시 및 처리방식으로 서울메트로 창동기지, 한국철도공사 병점, 시흥기지, 코레일공항공철도와 서울메트로 9호선에 적용하고 있음
- 미국 교통부에서는 고속철도 연구개발과제(High-Speed Rail IDEA)의 일환으로 저비용의 유지보수 없는 모니터링 시스템을 개발하기 위한 연구를 수행한 바 있음. 이 모니

터링 시스템에서는 스마트 센서(smart sensor)를 이용하여 철도차량 제동력을 직접 모니터링 하는 시스템(Smart Sensor System for Monitoring Railcar Braking Systems)을 개발하였고, 제동력을 측정하는 센서, 측정 정보를 송수신 하는 무선 네트워크 모듈, 자가발전 장치로 구성함.



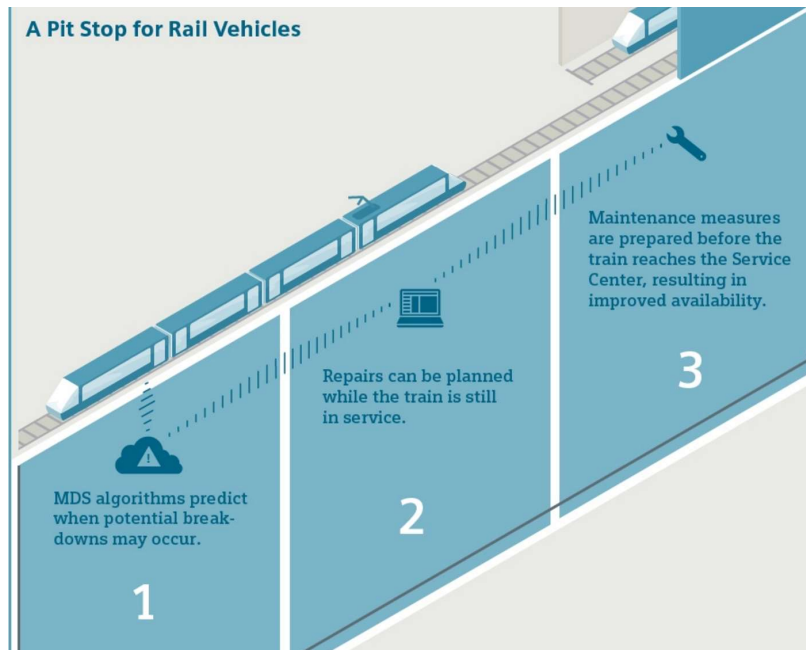
[그림 2.71] 제동력 측정을 위한 무선 스마트 센서(예)

- 미국 교통기술센터(Transportation Technology Center, Inc.)에서는 여러 가지 차량 상태 모니터링 시스템(Car health monitoring systems)을 연구개발하고 있음. 선로변 또는 차상의 자동화된 상태 모니터링장치는 차량 검사 비용을 감소시키고, 검사 주기 연장 및 상태기반 유지보수를 수행할 수 있음. 머신비전을 적용한 차량 부품 검사를 위한 시스템을 개발하여 시험 중에 있음.
- Wheel Profile Monitor
- Brake Shoe Measurement
- Automated Inspection of Safety Appliance System (ASAIS)(석탄차의 외부 결합 검출)
- Automated Inspection of Structural Components (AISC) system (언더프레임, 차량 하부 구조물 감시)
- Inspection of Bogey components (bearing end cap bolts, missing springs, broken springs, friction wedge missing or high, and broken journal bearing adapters 등)
- Fully Automated Train Scan System (FATSS)(차량 상부, 측면, 하부의 이미지 분석, 결합 검출)



[그림 2.72] Top, side, and underside views from the FATSS system.

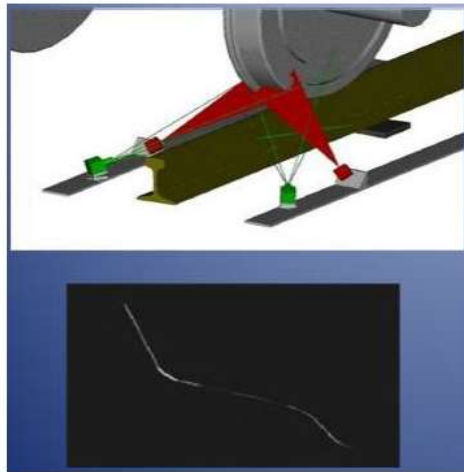
- 독일 지멘스(Siemens)에서는 혁신적인 IT 기반의 유지보수 절차를 도입하여 정비시간을 줄이고, 유지보수 효율 및 품질을 높이며 유지보수 무서류화를 추진함. 또한 증강현실을 도입하여 고장진단과 보수시간을 단축하고 모니터링 및 데이터 분석을 통한 예방정비를 수행하여, 가용성 증대를 꾀함. 이 시스템은 스페인 Velaro E 차량에 performance-based-maintenance 개념에 기초하여 유연한 유지보수 주기에 적용하고 있음



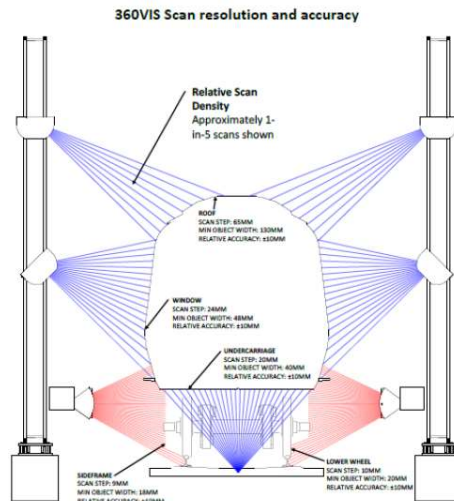
[그림 2.73] 독일 지멘스(Siemens) 레일유지보수서비스 개념도

- Bombardier에서는 2013년 자동 차량 검사시스템(AVIS)을 개발하였으며, 차량장치측정시스템(VEMS)*과 의사결정 지원S/W를 연계하여 이용함

* VEMS: 축상 온도 모니터링/ 브레이크 패드 모니터링/ 브레이크 디스크 모니터링/차륜 프로파일 모니터링/ 판토히크 마모 모니터링/ 차륜 손상 모니터링/시각 이미지 측정 시스템으로 구성



<Wheel Profile Monitoring>



<Visual Image Capture System>

[그림 2.74] 봄바르디아의 차동 차량 검사시스템

- 또한 국토해양부 지원으로 수행된 “철도차량 검수고 자동 검사장치 고도화 (2011~2014)” 사업에서는 일상 검수장치에 사용된 기술의 고도화를 위해 판타그래프, 옥상기기, 차륜찰상, 차륜형상, 제륜자 마모, 디스크라이닝 마모 검사기술 및 측정장비를 개발한 바 있으며, 국내 철도운영처에서 일부 적용하고 있음



[그림 2.75] 에코마이스터 옥상감시장치(예)

나. 이동식 자동검측기술

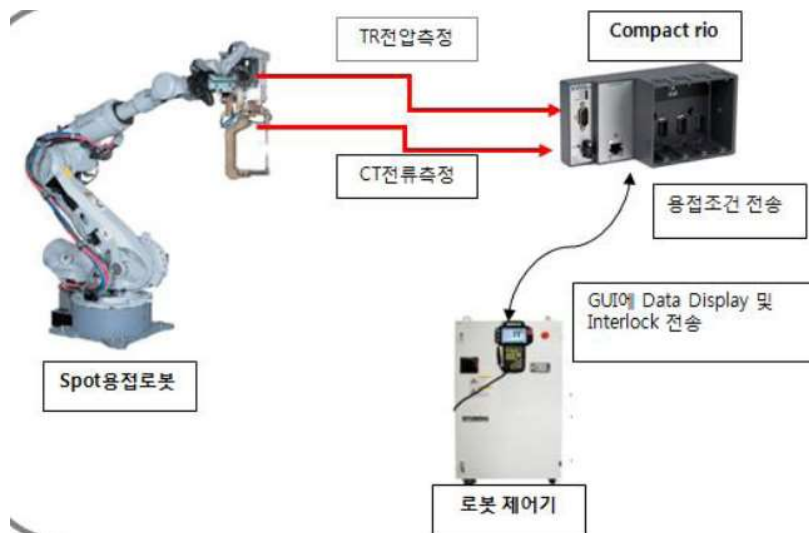
- 철도차량의 하부정비는 차량기지에서 수행되는 것이 일반적이며, 3인 1조 또는 4인 1조 등으로 편성하여, 부품 및 장치의 이상 유무를 확인하고 있음. 특히 차륜 답면 또는 디스크 답면 등은 차량을 들고 회전시키면서 검사해야 하므로 다수의 인원이 필요함. 이에

따라 이를 지원하기 위한 장비의 개발이 필요함. 이러한 장비는 최대한 자동화를 이룸으로써 최소의 인원으로 운영이 가능하도록 해야 하며, 이를 위해서는 현재 급속히 발전하고 있는 로봇기술의 도입도 시도해볼 필요가 있음



[그림 2.76] 철도차량 하부정비

- 대표적으로 생산라인에서의 자동화 장비를 이용한 물리량 측정을 기반으로 하여 제품의 불량률 검출해내는 시스템은 이미 제조업에서는 일반화된 기술로 간주되고 있음. 이러한 기술은 이동식 장비와 로봇암 등을 기반으로 한 장비와 연계하여 활용할 경우 유지보수에 소요되는 인공을 획기적으로 저감할 수 있을 것으로 기대됨



[그림 2.77] 자동화 기기에 의한 물리량 측정

- 카메라 비전은 인간의 눈을 대체할 수 있는 기술로 현재 가장 일반적으로 적용되는 기술이며, 인간의 눈에 보이는 결함을 쉽게 분별할 수 있는 것과 같이 카메라 비전 기술을 이용하여 다양한 결함을 검출해 내는 것에 활용하고 있음



[그림 2.78] 카메라 비전을 이용한 결함검사

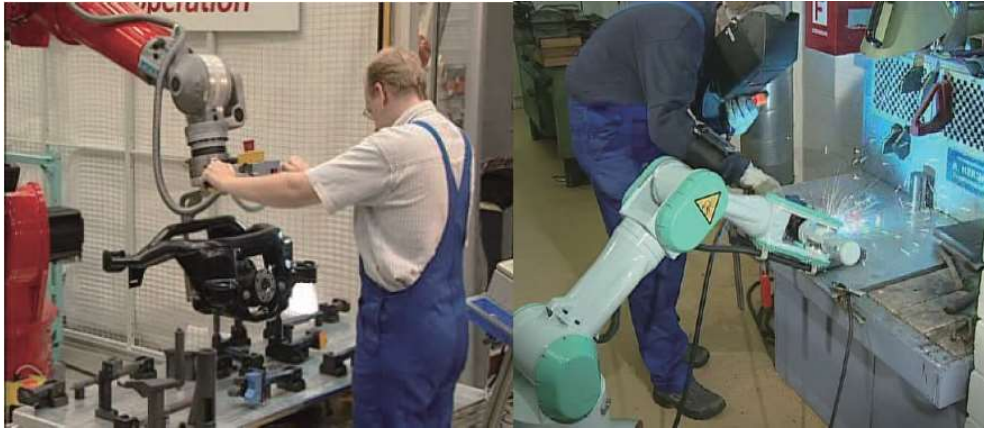
- 미국의 카네기 멜런 대학에서는 사람에 의해 동작되는 검사로봇(Sensabot)을 개발하였으며, 이 로봇은 무선 네트워크를 기반으로 하여 360도 카메라 비전을 탑재하고 레이저 센서 등을 이용하여 사용자가 목적으로 하는 대상체를 검측함



Overall length	1280 mm	Driving cameras	3 forward, 3 reverse
Overall width	750 mm	Inspection camera	hi-res pan/tilt/zoom
Weight	250 kg + 50 kg load	Sensor cameras	4 on sensor boom
Maximum speed	5 km/hr	Thermal sensor	non-contact IR
Mobility	walkways, rock, snow	Explosive gas sensors	most hydrocarbons
Communications	Wi-Fi, 3G	Toxic gas sensor	hydrogen sulfide
Boom reach	1.6 m, 2.5 m total ht.	Vibration sensor	10 kHz contact
Hazardous areas	zone-1 IECEx/ATEX	Audio	stereo microphones
Environmental	purged IP-67	Battery	2.3 kWh AGM
Operating temp.	-35C to 40C	Charging power	110 – 250 V AC
Obstacle detection	scanning laser	Purge gas	8 bar instrument air

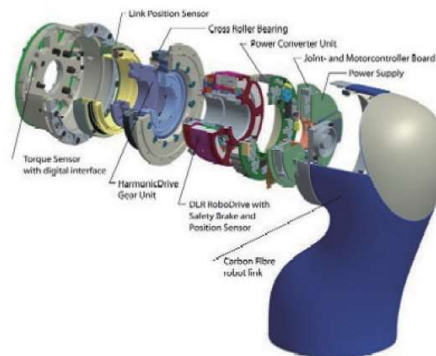
[그림 2.79] 자동검측 로봇 및 사양

- 독일 IPA사에서 개발한 차세대 산업용 로봇 파워메이트는 로봇 매니플레이터가 수십 kg에 달하는 차량 기어박스를 자동차 조립라인의 기술자 앞으로 이동시키고, 기술자가 로봇을 잡고 천천히 자동차 틀 안에 이어박스를 정확히 끼워 맞추는 연구를 수행



[그림 2.80] IPA의 인간-로봇 협업 기술

- DLR의 light-weight arm은 현재 개발된 세계 최고 수준의 로봇팔로 자중대비 가반하중의 비가 거의 1:1에 가까운 컴팩트한 로봇으로 중공형 서보모터, 중공형 하모닉 감속기, 중공형 엔코더, 중공형 토크 센서 등으로 구성됨. 링크 또한 복합소재를 활용하여 로봇 무게를 획기적으로 줄였으며, 하드웨어적으로도 사람과의 충돌시 충격력을 최소화할 수 있도록 개발됨



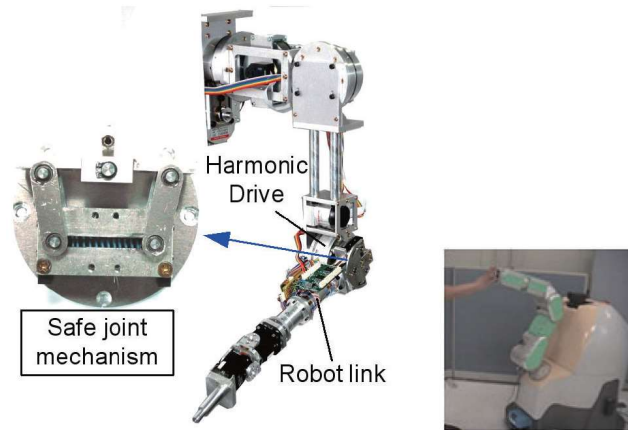
[그림 2.81] DLR의 Light weight arm

- 이탈리아 PRISMA 연구실에서는 인간과의 접촉이나 외부에서의 명령 입력에 따른 컴플라이언스 제어, 임피던스 제어 기법에 관한 연구를 수행하였으며, 로봇 관절의 모션제어를 통해 관절간의 충돌 회피 알고리즘 등을 연구하고 있음



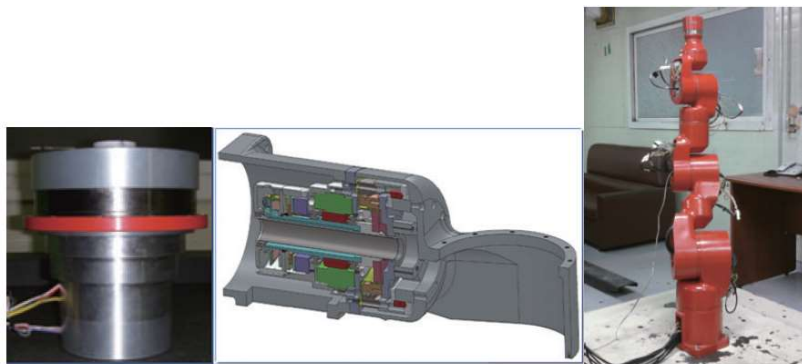
[그림 2.82] 이탈리아 PRISMA 연구소

- 국내에서는 고려대와 KIST에서 인간과 로봇의 충돌에 대비할 수 있는 안전관절에 대한 연구를 수행해 왔으며, 안전기술은 비전센서, 초음파 센서 등의 외부센서를 통해 구현할 수 있음



[그림 2.83] 안전조인트(수동안전관절 조인트, MR 유체 안전조인트)

- 한국기계연구원에서는 인간-로봇 협업 머니플레이션 기술개발 과제를 통해 인간-로봇 협업을 위한 컴팩트 로봇 설계/제작 기술, 인간-로봇 협력을 위한 직접교기 및 재현 알고리즘, 통합안전기술 등을 개발함

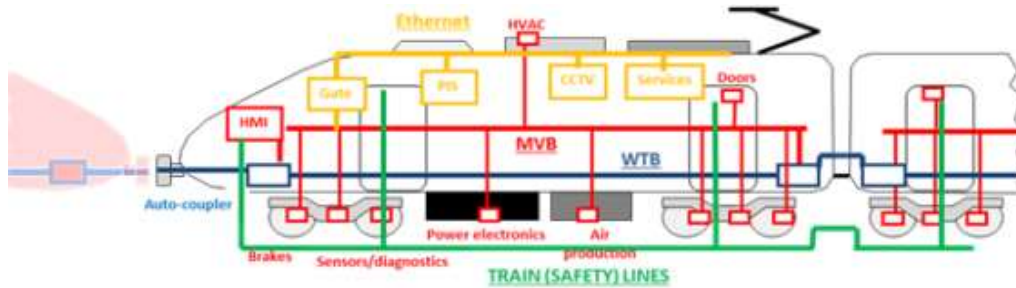


[그림 2.84] 중공형 구동 모듈을 활용한 로봇 플랫폼

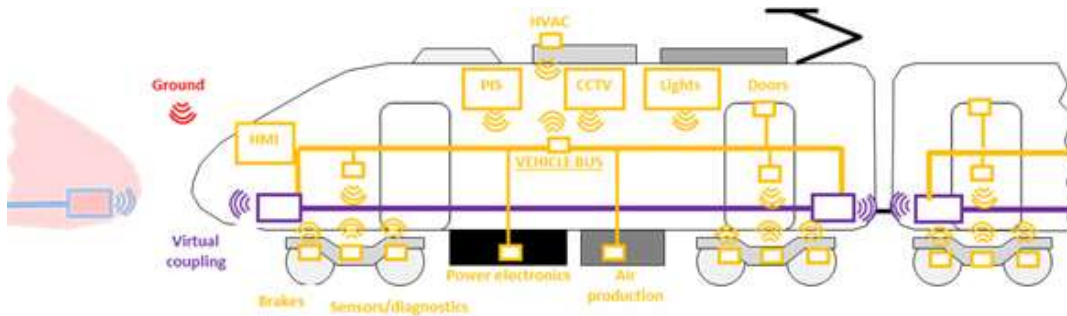
다. 자가진단기술

○ 차세대 TCMS(Train Control and Monitoring System) 개발

- 유럽의 Shift2Rail 프로젝트에서는 차량의 안전과 신뢰성 수준을 높이기 위하여 차량과 구성품 사이의 무선 정보전달을 기본으로 하고 있는 차세대 TCMS 개발을 수행 중에 있음.



a) 현재의 TCMS



b) 차세대 TCMS

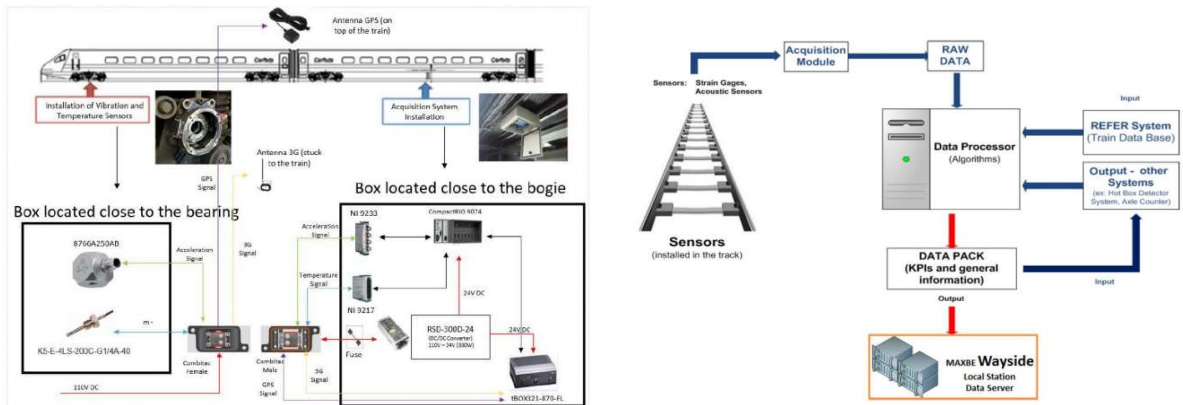
[그림 2.85] 현재 및 차세대 TCMS 아키텍처

- 현재의 유선 TCMS는 차량의 수많은 케이블과 커넥터와 차량간에 연결된 유선 연결기를 통한 불안정한 통신이 장애의 원인이 될 수 있기 때문에 무선 TCMS를 통하여 장애를 줄이고자 함. 또한, 차량 제어에 필요한 케이블의 무게를 1/2로 줄이고, 전자기가 차지하는 공간의 25% 축소를 목표로 함
- Shift2Rail에서 제안한 차세대 TCMS의 비전은 차량과 차량간의 통신, 지상과 차량간의 통신은 Hybrid wireless 통신방식으로 수행하고, 차량내 서브시스템의 기능을 제어하는 프로세스 수를 감축하고, 안전을 위한 기능을 수행하는 아키텍처를 갖는 것을 목표로 함

○ 베어링 진단시스템(Multi-parameter condition monitoring system) 개발

- 베어링 진단시스템에서는 지상과 차상의 모니터링 시스템에서 계측되는 다양한 신호를 이용하여 베어링의 상태를 평가함. 이때 지상과 차상의 데이터를 연계하는 알고리즘을 이용하여 데이터를 처리함.
- 평가에 이용되는 신호는 진동, 온도, 음향(Acoustic)신호이며, 이 신호들을 종합하는

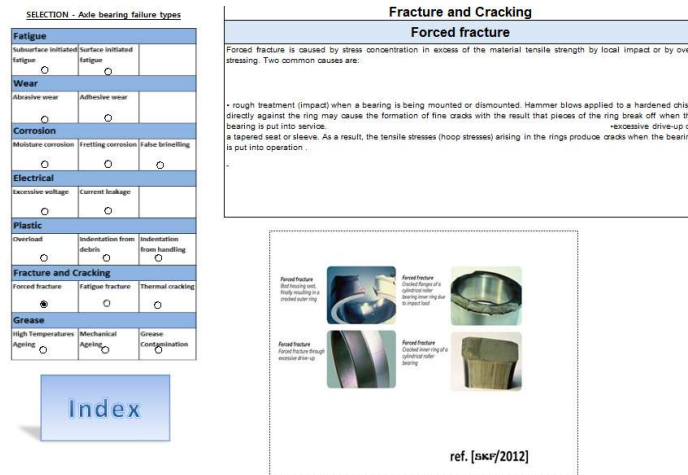
알고리즘을 이용하여 베어링의 상태를 평가함. 또한 이를 위하여 베어링의 열화모델을 개발하여 사용함.



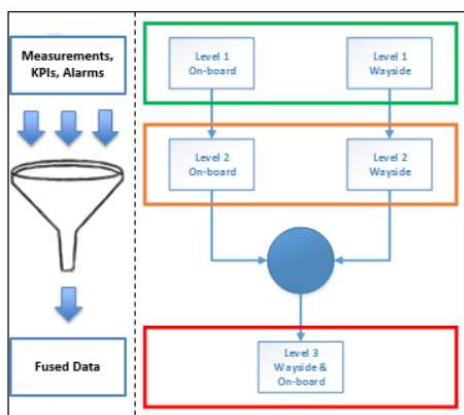
a) 차상 모니터링(온도, 진동)

b) 지상 모니터링 (음향, 스트레인)

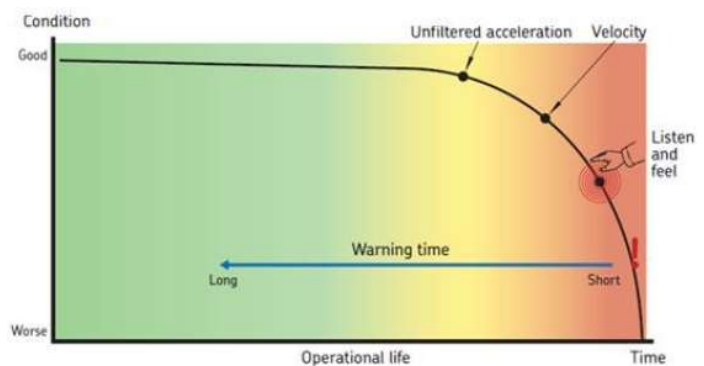
[그림 2.86] 베어링 진단시스템



a) 베어링 손상 모드



b) 데이터 혼합 알고리즘



c) 베어링 수명 모델

[그림 2.87] 베어링 진단을 위한 수명 모델 및 데이터 혼합 알고리즘

○ 자기학습(Self-learning) 기술을 활용한 철도차량 자동검사 장치

- 독일의 KleinTech에서는 Machine Vision, Infrared Vision, 3D 레이저 스캐너를 이용하여 화차 및 기관차의 주요부분을 자동으로 검사하는 시스템을 개발함.
- 각각의 센서에서 검출된 데이터를 딥러닝 기술(Deep learning tech.)과 형상비교기술(Pattern comparison tech.)을 이용하여 화차의 상태를 자동으로 검사함.

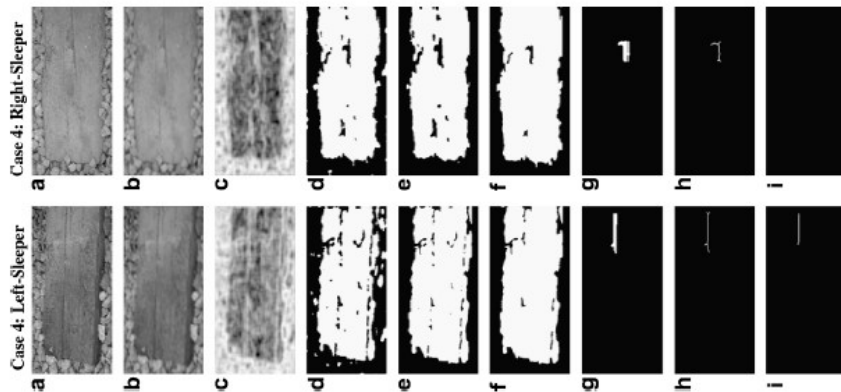


- 2. 딥러닝 및 형상비교기술을 이용한 화차 화물 상태 분석
- 5. 딥러닝 기술을 이용한 화차형태 인식
- 6. 딥러닝 및 형상비교기술을 이용한 화차 해치 위치 감지

[그림 2.88] 화차 및 기관차의 주요검사 부위

○ 패턴인식기술을 이용한 목침목 컨디션 모니터링

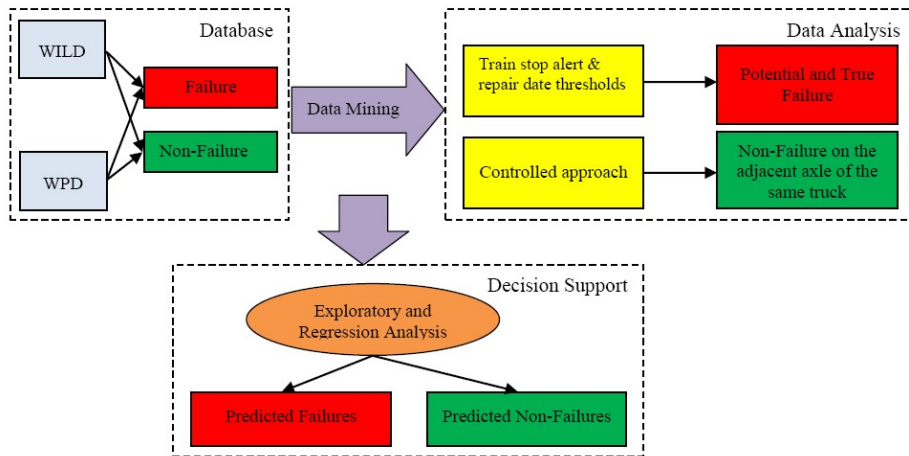
- 스웨덴에서는 목침목 상태를 검수원이 육안을 검사하고 있어서, 많은 시간이 소요되고 휴먼 에러가 발생함.
- 검수원의 검사를 자동화하기 위하여 머신비전시스템을 이용하였고, 목침목 상태 검사를 위하여 형상인식기술(Pattern Recognition Tech.) 및 이미지 분석기술을 이용하였음.



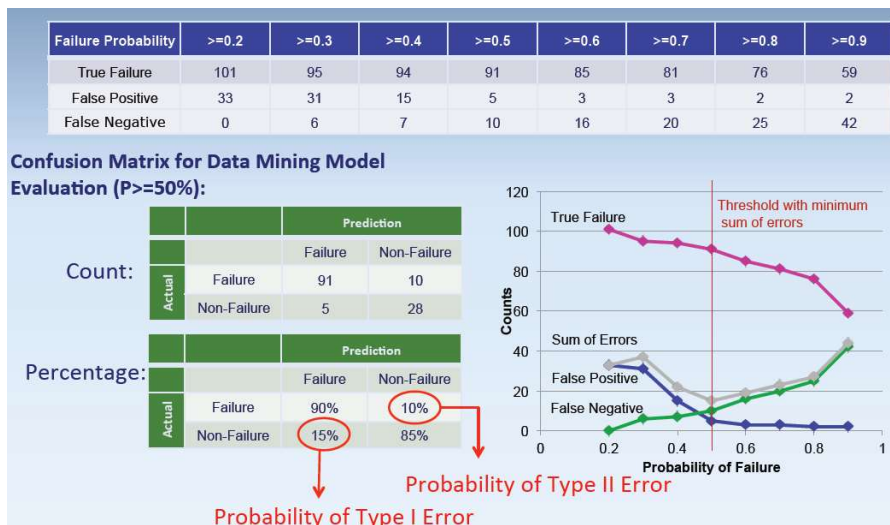
[그림 2.89] 목침목의 형상인식과 다양한 형태의 이미지 프로세싱 결과

○ 차륜 파손 예측을 위한 데이터 마이닝 프레임워크 개발(Data Mining Framework)

- 미국에서는 선로변검사장치(WDD, Wayside Defect Detectors)의 데이터를 통계적인 데이터 마이닝 기술을 이용하여 차륜의 파손을 효율적으로 예측함.
- 독립적인 선로변 검사장치중에 하나로 차륜의 찰상 등의 손상을 감지하기 위한 WILD(Wheel Impact Load Detector)와 차륜의 프로파일을 측정하는 WPD(Wheel Profile Detector)의 데이터를 동시에 평가하기 위한 모델을 개발하여, 차륜손상을 정확히 감지하는 시스템 개발.



[그림 2.90] 차륜 파손 예측을 위한 데이터 마이닝 프레임 워크

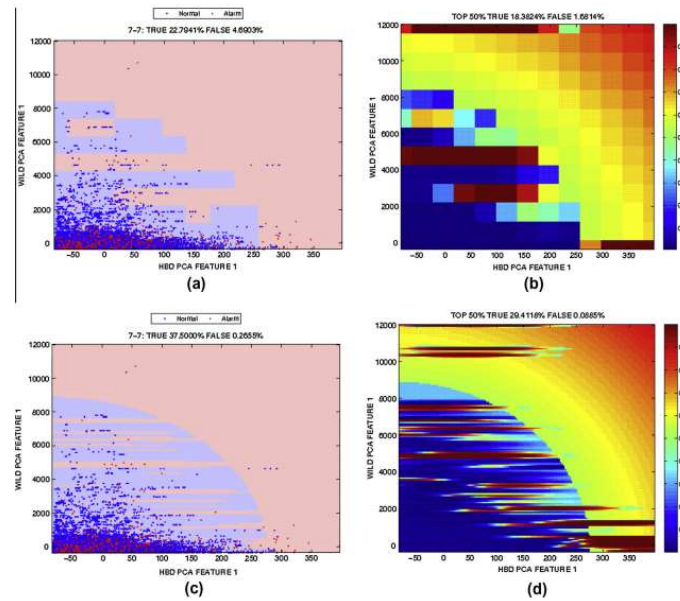


[그림 2.91] 회귀모델 적용 시 시험결과

○ 빅데이터와 머신러닝 기술을 이용한 철도차량의 유지보수 효율화

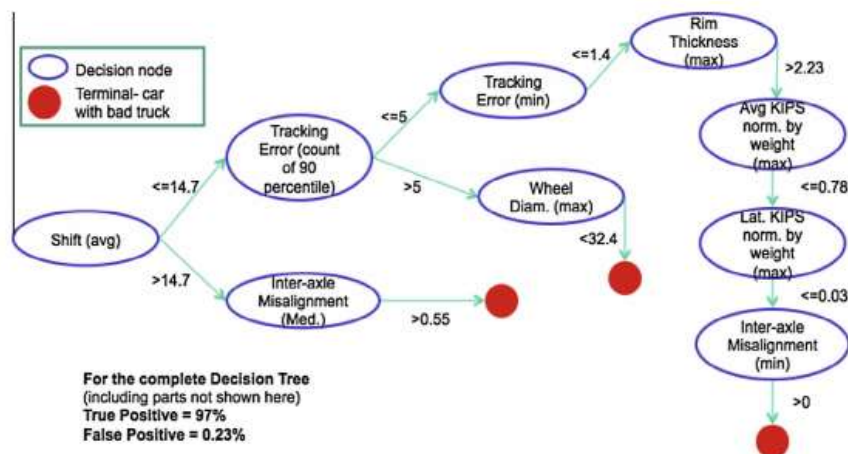
- 미국에서는 선로변에 다양한 손상검지장치(Wayside Mechanical Condition Detector)가 설치되어 있으며, 차량이 통과시에 미리 설정된 기준치를 초과하는지 여부를 판단함. 이때, 기준치를 초과하면 즉시 차량의 속도를 늦추거나, 멈추어야 하므로 오동작시에는 많은 손실이 발생함.
- 국내에서는 선로변에 설치된 검지장치(HBD)의 오동작이 많이 발생하고 있으며, 이러

한 오동작은 측정 에러 또는 검지장치의 환경적인 영향으로 인한 경우가 많음.



[그림 2.92] WILD와 HBD의 데이터를 이용한 손상맵

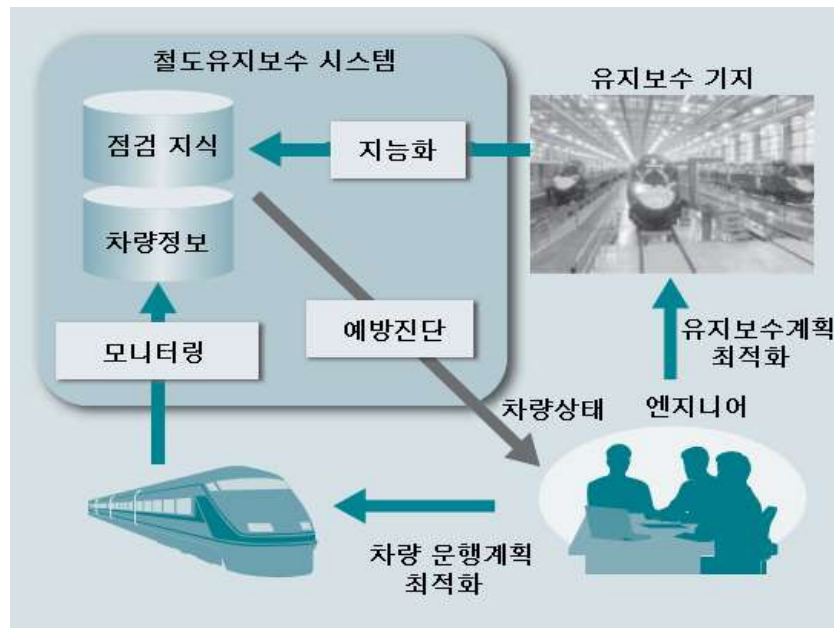
- 차량의 상태를 판단할 때 하나의 측정 데이터를 이용하는 것보다 다양한 측정 데이터 (온도, 스트레인, 비전, 열화상, 무게, 충격 등)와 유지보수 데이터, 손상데이터 등을 종합적으로 이용하면 상대적으로 보다 더 정확하게 차량의 상태를 예측할 수 있음.
- 이러한 빅 데이터를 이용하여 손상예측모델 및 기준치를 만들기 위해서는 머신러닝기술(Machine learning tech.), 상관분석(Correlation analysis), 시간대 분석(Time series analysis), 인과분석(Casual analysis) 등의 기술이 필요함.



[그림 2.93] 차량의 상태 판단을 위한 결정 트리

라. 능동유지보수기술

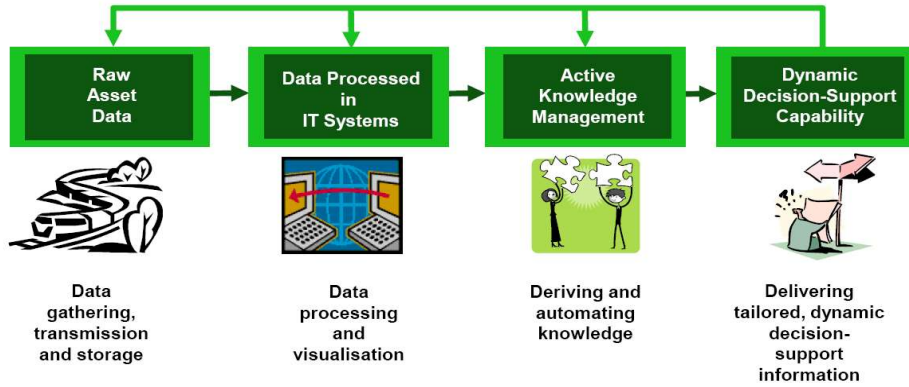
- 기존선의 고속화 · 수송력 증강과 함께 유지 보수의 양 · 질 향상이 요구되고 있으며 앞에서 설명한 정기적 보수 체제 아래에서 사후 보전 방식에서 진일보한 예방 방식으로의 전환으로 지향하고 있음. 설비 · 부품의 열화 · 손상의 발생과 진전의 메커니즘을 해명하고, 수명 예측 · 정량화 및 열화 손상의 예방 · 억제 기술의 연구 개발이 진행되고 있으며 이에 따라보다 유연하고 적절한 검사 · 보수시기의 설정 및 예방 · 억제 기술의 실용화가 추진되면서 차량운행의 가용성 증가, 유지보수의 최적화 방법에 대한 기술개발이 대두되고 있음



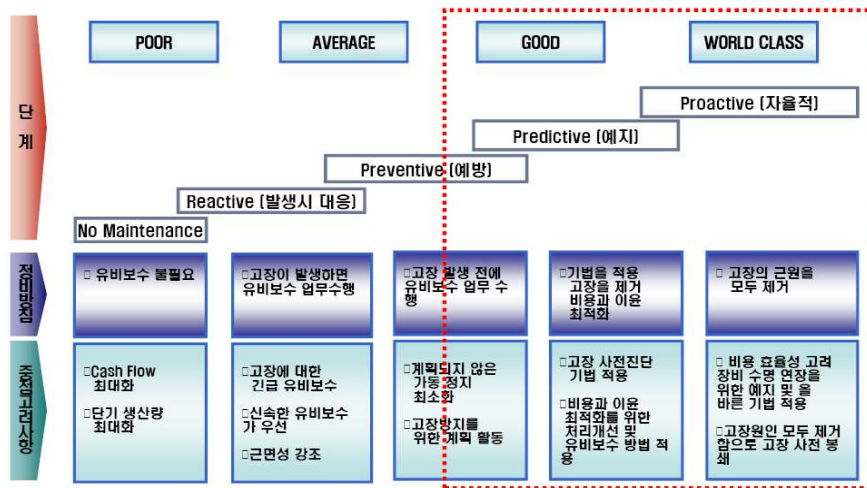
[그림 2.94] 차량유지보수 시스템

- 유지보수검사 시간 단축의 궁극적인 목표는 사용량이 적은 시간에만 검사를 수행할 수 있도록 검사 시간을 단축시켜 피크 타임에는 차량 점검이 불가능한 열차가 없도록 차량 가용성을 향상시키는 방안이 주요 포인트임
 - 1 단계 : 중복성을 제거하고 주기성을 확장하여 보다 정기적인 검사 계획을 수립, 장비 가용성이 즉시 개선(검사를 작은 실행 모듈로 구분)
 - 2 단계 : 오늘 수행되는 예정된 유지 보수를 생략하고 기회에 따라 계획되고 수행되는 모듈화된 유지 보수 수행(피크 일정 기간에 대한 검사 스케줄링)
- 이러한 유지보수의 주요 이점은 표준 검사 시간 단축, 유지 보수 정기주기 연장, 유지 보수 시설 안팎으로 열차 이동을 감소와 같은 방법으로 유지 관리 부담을 감소시키며 열차의 가용성 향상, 정비기지 가용성 향상 및 열차 안전성 유지에 기여함
- 차량유지보수에 있어 용량과 용량 또는 설비 확장에 어려움을 겪고 있는 많은 기관의 경우 IT를 융합한 기술 솔루션을 도입하여 경제성을 창출하고 있음

- 모듈화된 유지보수는 유지 보수 수요가 변동하는 것을 인식하고 장비 안정성, 비정상적인 활동, 기상 조건 및 직원 출석의 변화로 인해 상황에 유연하게 대응하여 방치하지 않고 검사에서 수행해야 할 모든 활동을 1인당 1~2 시간의 작은 블록으로 나누면 유지 보수 '블록' 훨씬 더 유연하게 스케줄링 할 수 있음



[그림 2.95] 차량유지보수 데이터와 유지보수 지원시스템의 처리 절차



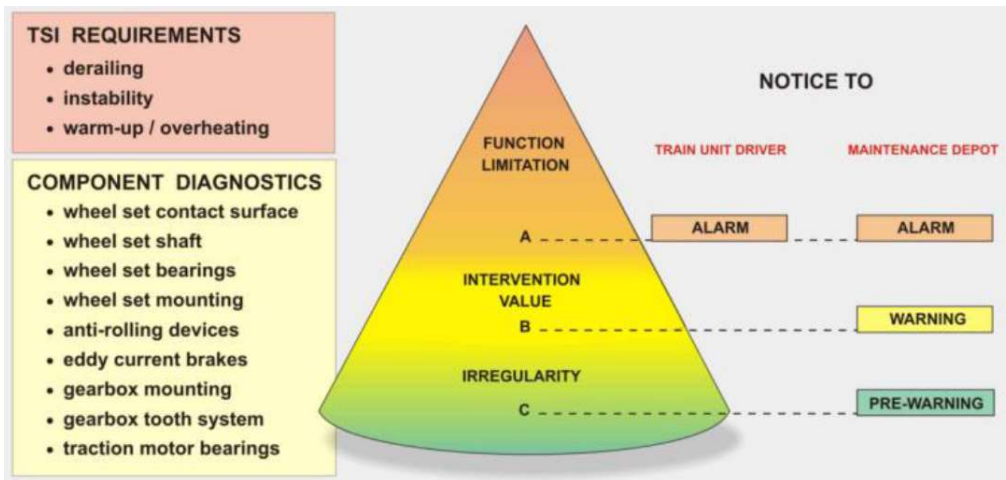
[그림 2.96] 유지보수의 단계적 방법과 고려사항

- IT의 활용 등에 의한 검사 · 진단 기술의 자동화 · 고정밀화 검사 · 진단 기술의 연구 개발 중 차량과 지상 설비의 필요 부분 정도의 향상 · 변위 발생 능력 및 진동 가속도, 이미지 등의 진단 · 평가 필요한 검사 데이터를 정확하게 얻기 위한 자동 측정 장치 또는 시스템 기술 개발하고 있으며 이러한 시스템에서 측정, 축적된 데이터를 기지 내 유지보수 계획 수립에 활용하기 위한 맵핑기술, 모듈화 기술 등의 분석기술이 있음
- 영업차량을 활용한 궤도와 전차선 설비의 저비용 검측 시스템의 실용화, IT 등의 신기술을 활용한 센싱 기술과 데이터 전송 기술을 채용한 모니터링 시스템 개발에 힘을 주 기 율이 고 있으며, 열화·손상이나 기능이상 유무를 진단하는 알고리즘 및 시스템 개발의

측면에서, 상시 미동 측정에 의한 차량 진단기술에 초점을 맞추고 있음



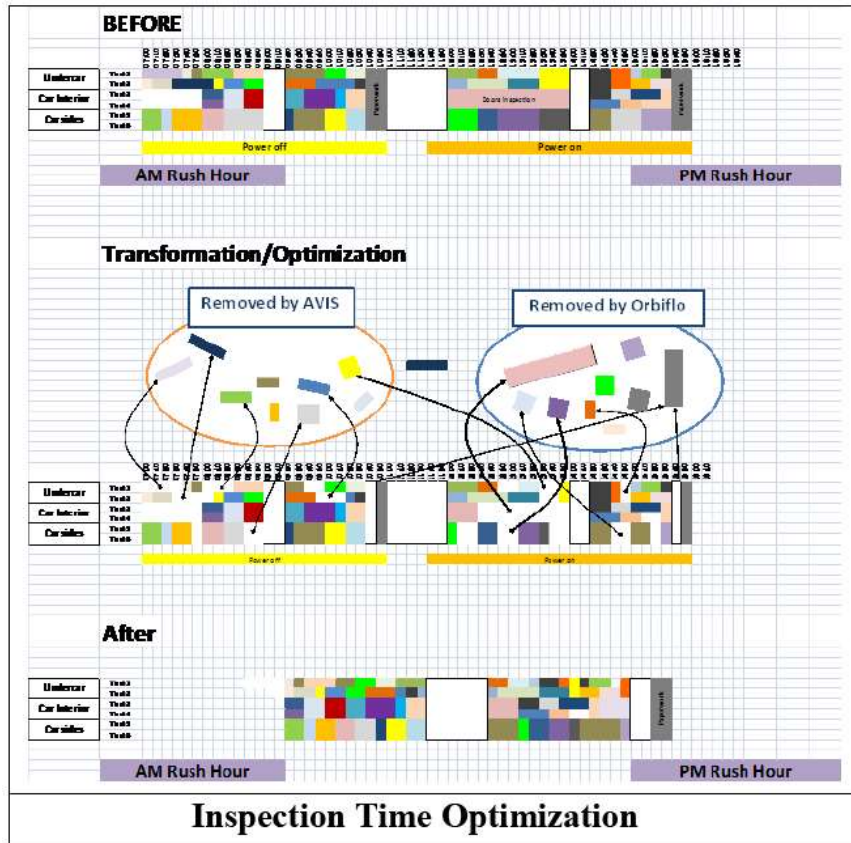
[그림 2.97] IT센서 네트워크 기반 유지보수 결정 프로세스



[그림 2.98] 차량 유지보수의 진단대상과 고장레벨

- IT 등 신기술을 활용한 센서 기술과 데이터 전송 시스템에 의한 종합적인 검사 · 진단 시스템의 구축도 유지 관리에 관한 연구 개발의 큰 흐름임. 시간이 지남에 따라 보수 수준이 악화되어가는 유지보수 작업을 효율적이고 경제적으로 실시해 나갈 계획 수립 기법을 확립하기 위한 알고리즘 및 시스템 개발 및 수명주기비용을 최소화하기 위한 유지보수 계획의 책정방법 개발이 연구 개발 대상이며 비용 산정 방법도 중요함
- 최근 빅데이터 분석기술과 AI기법의 활용 기술 발전과 함께 검사 · 진단 결과에 따른 효과적인 보수 교체 계획을 수립하기 위한 종합적인 유지보수 관리 시스템은 대상 작업의 확대, 비용계산, 정밀도 향상 등을 도모하면서 레벨업이 되고 있음. 차량은 수십 년 서서히 열화가 진행된다면 동시에 교체 · 보수 비용이 필요하기 때문에 수명주기 비용과

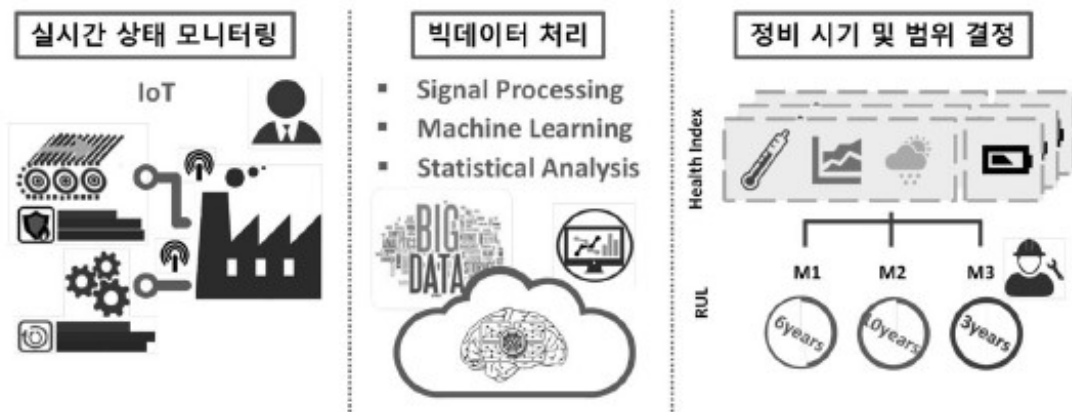
위험을 고려한 유지보수 수정 계획 수립이 유효함. 빠른 보수보다 효율적으로 사용주기를 도모하는 정성적인 개념이 정착되고 있지만, 열화모델의 정확도 향상이 요구되고 있음



[그림 2.99] 차량 유지보수 시간 최적화와 모듈화

- 차량부품의 열화 · 손상 메커니즘의 해명과 검사 · 진단 데이터의 축적 · 분석이 모든 분야에서 정확한 수명 예측이 가능하며, 검사주기의 적정화 · 연신 및 보수 필요 여부의 적절한 판단에 따라 효율적으로 실시할 수 있는 유지보수 기법의 실현이 가능해지고 있음. IT의 신기술에 따라 센싱 · 모니터링 기술을 구사한 고정밀 고효율 검사 장비 시스템과 진단 기술의 확립이 필요하며 라이프 사이클 비용이나 열화 손상에 따른 리스크를 고려한 유지 관리도 앞으로 나아갈 방향임. 여기에는 리스크의 정량화, 기준치와 등의 과제가 중요하며 시뮬레이션 프로그램 기술개발에 따른 새로운 검사 · 진단 기술이 같이 양립되어 발전할 수 있음. 예를 들어, 차량 측정 오차데이터를 이용한 차량 데이터 시뮬레이션을 통해 차량의 탈선 계수 등을 실제 차량에 의한 측정을 하지 않고 예측 보수 개소를 정확하게 선정 할 수 있음. 검사 · 보수의 자동화 · 간소화 저출산 고령화와 3K 작업 기피 의한 유지 관리 종사자의 부족, 심지어는 베이비 붐 세대의 대량 퇴직에 따른 기술 계승은 큰 사회 현상이며, 21세기에 전반적으로 해결할 수 있는 전망이 부족한 것으로 보임. 검사에서 보수에 이르기 유지 보수 작업 전반에 걸쳐 철저한 자동화 · 절감화를 더욱 강력하게 추진해야 함.

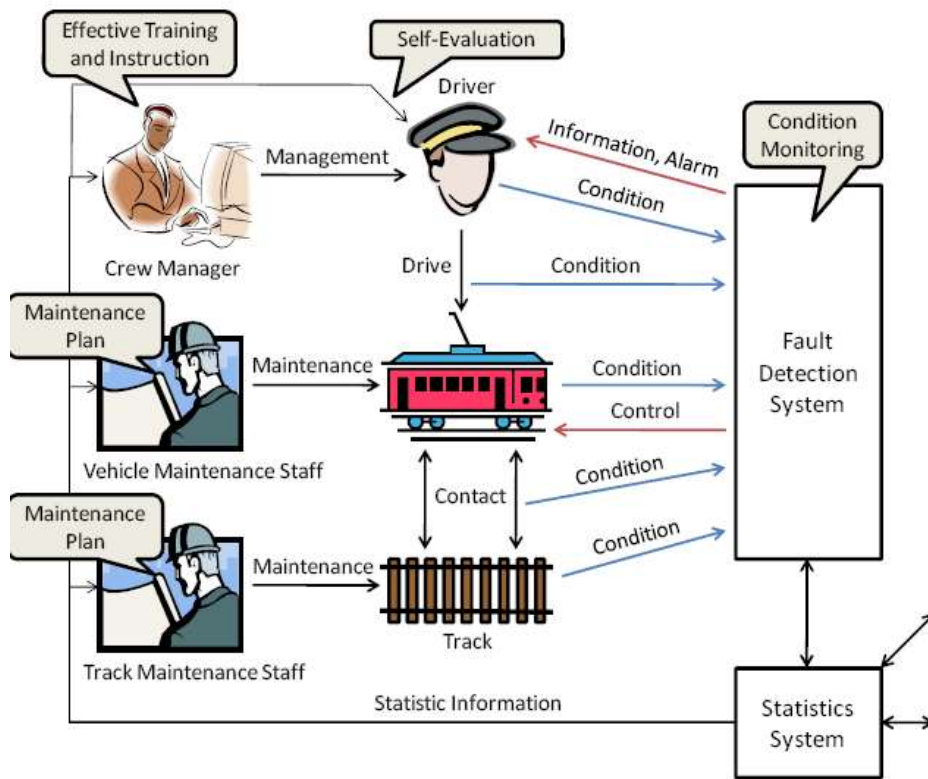
- 고장 진단 및 예지기술의 방법으로는 실시간 모니터링이 되지 않는 경험기반방법을 제외하고 나면 데이터기반 방법과 모델기반 방법의 두 가지 방향이 존재함.
 - 데이터기반방법의 경우에는 물리적 모델을 만들기 어려운 대상에 대한 고장 진단 및 예지를 하고자 할 때 사용될 수 있으며 이 경우 신뢰할 수 있는 훈련 데이터(training data)를 얻는 것이 중요하므로 유지보수 전략을 계획함에 있어 장비 초기 설치 후 최대한 많은 데이터를 취득하는 과정이 고려되어야 함.
 - 반면, 모델기반방법을 적용할 때에는 복합적인 전체 시스템으로 접근하기보다 단일 기계 장비 단위로 접근하여 물리적 모델의 매개변수 추정 및 매개변수 간 관계 확인 (parameter estimation & correlation between parameters) 단계에서의 불확실성과 복잡도를 낮추는 것이 좋음



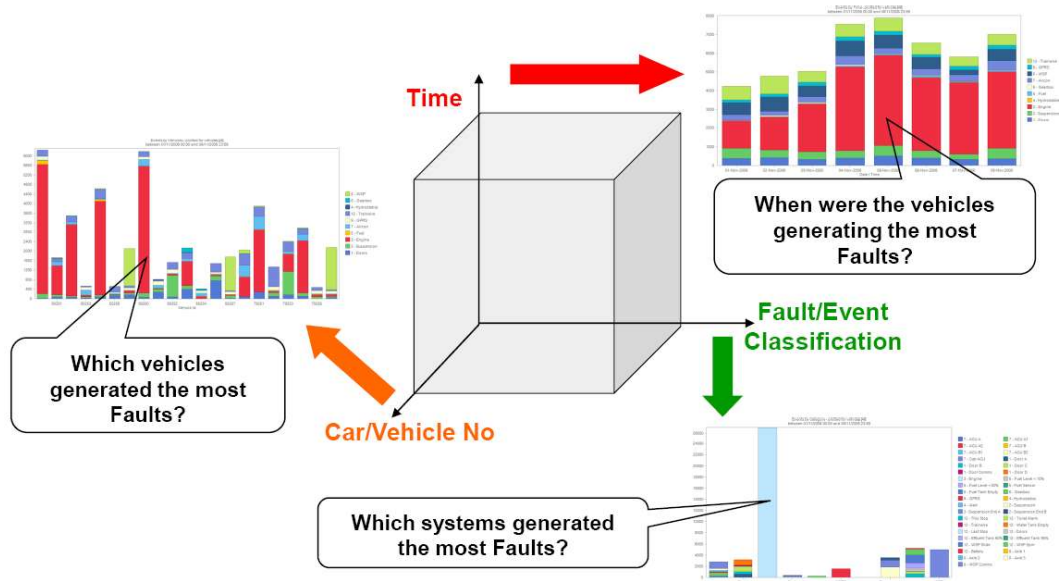
[그림 2.100] 모니터링 데이터기반 유지보수의 일반적인 프로세스

- 능동적인 차량유지보수 계획 수립은 다음과 같은 기능과 기술이 요구됨
 - 기기 대장 관리 차량 관리의 기본이 되는 차량 장비의 대장을 관리하는 기능
 - 차량 번호 관리 모델 별 기본 정보 (뼈대) 관리
 - 차량·장비 정보 관리 차량 부품 등 장비 인벤토리 정보 관리
 - 차량·장비 구성 관리 구성, 차량, 장비의 구성, 제공 정보의 관리
 - 차량 배치 구 소 관리 차량 별 보수 작업 구 소 관리
 - 검사 계획·실적 관리 검사 계획 수립 지원 및 검사의 실시 결과를 관리하는 기능
 - 검사 계획 작성 지원 운용 기간, 주행 거리, 검사 자원의 관점에서 검사 계획 작성
 - 검사 지시 검사장에서 검사 계획의 출력과 메일 검사 문의
 - 검사 실적 정보 관리 검사의 실시시기, 검사 실시 자, 검사 결과의 관리
 - 검사 성적 표 출력 검사 종류별 검사 결과를 검사 성적표로 출력

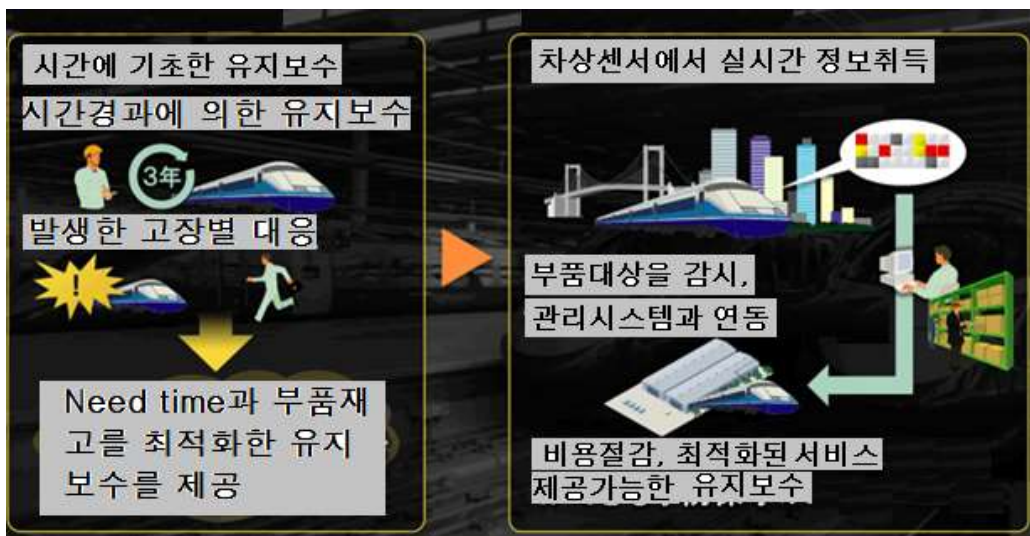
- 고장 관리 시스템 고장에서 복구까지와 이력 정보를 관리하는 기능
 - 고장 정보 관리 발생 일시, 복구 일시, 내용, 처리, 영향 등을 고장마다 관리
 - 고장 대책 관리 시스템 고장에서 복구까지의 상태 및 진행 관리
 - 고장 이력 관리 고장 이력의 축적 및 과거 정보 검색 및 추출
- 소모품 관리 소모품 교체 기한 대체 이력 관리 기능
 - 소모품 재고 관리 소모품 입고고 정보를 통해 재고를 관리하고 안전 재고를 끼어 경우 경고 출력
 - 소모품 총당금 관리 입고 예정 총당을 관리하고 미래의 재고 수량 확인
- 분석 기능 고장 정보 분석 결과를 출력하는 기능
 - 고장 분석 기능 고장 정보를 부위, 원인, 발생시기, 업체별로 분석



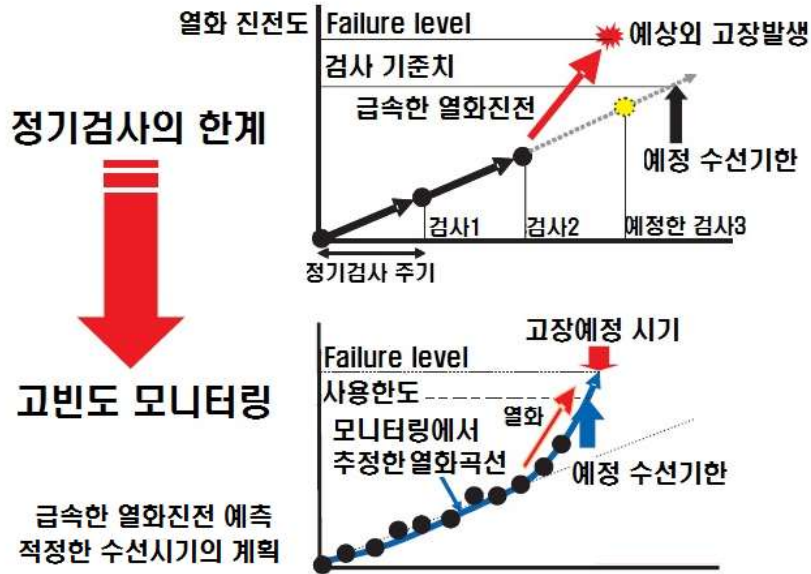
[그림 2.101] 스마트 기술을 이용한 차량유지보수 계획



[그림 2.102] 빅데이터 분석을 이용한 차량 유지보수데이터의 처리방법

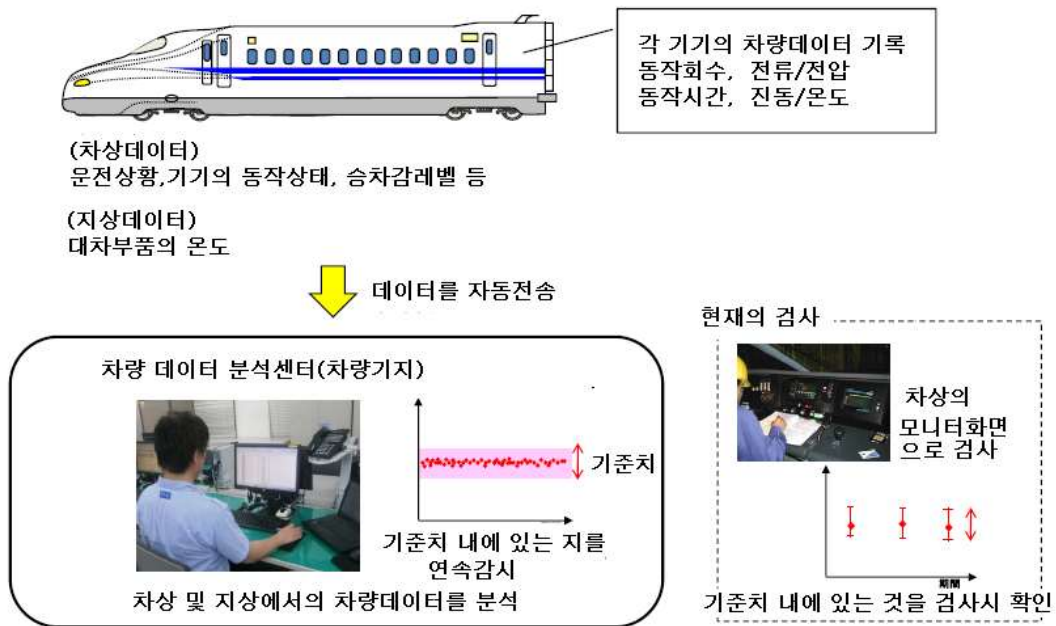


[그림 2.103] 차량 유지보수시스템의 변화



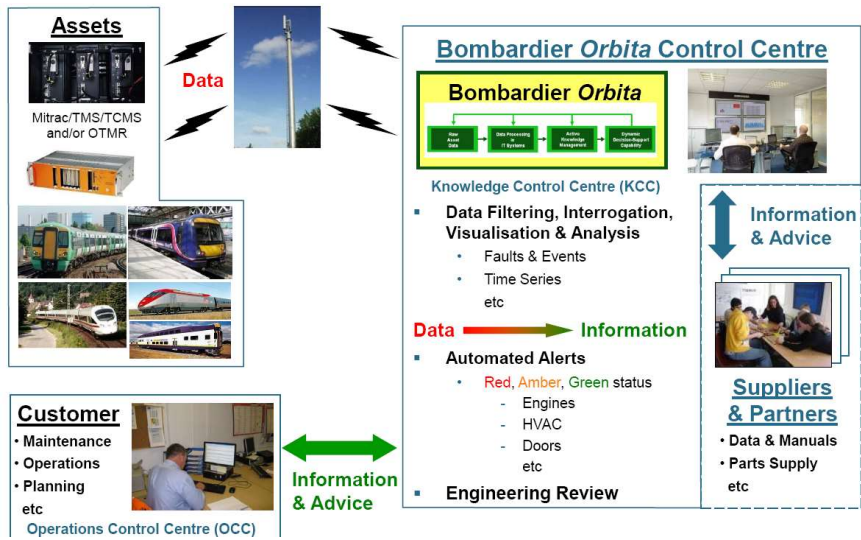
[그림 2.104] 차상 지상 센서에 의한 차량 유지보수 검사방법의 변천

- 일본 토카이도 정비기지내에서 차상 지상 데이터를 이용한 유지보수 계획을 수립하고 있으며 24시간 신칸센 운행차량의 데이터를 감시하는 차량유지보수 관리센터를 별도 운영하고 있음

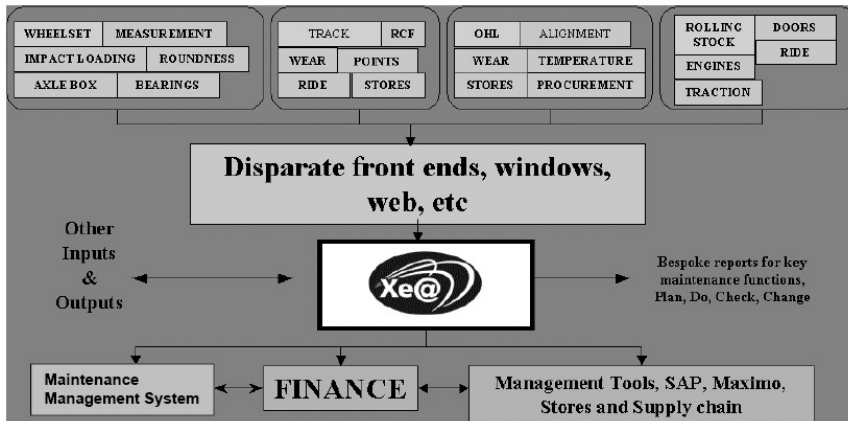


[그림 2.105] 일본(JR 토카이도) 고속차량의 유지보수 데이터 분석방법

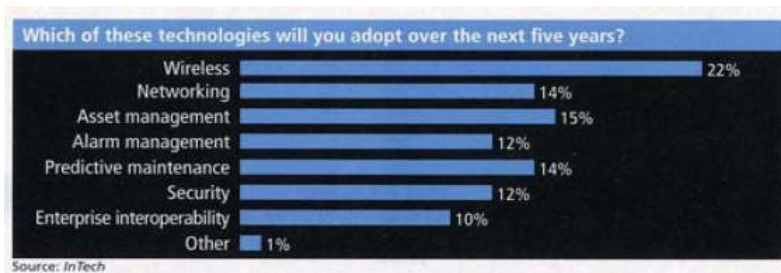
- Bombardier에는 Oribita라는 차량 유지보수 데이터분석 및 계획수립 프로세스를 가지고 차량의 유지보수 스케줄링을 수행하고 있으며 영국에서는 유지보수 데이터 검측, 분석, 계획 수립, 부품관리 계획 등의 종합적인 유지보수 지원시스템을 운영하고 있음



[그림 2.106] 차량 유지보수 프로세스(Orbita)



[그림 2.107] 차량 유지보수 프로세스(영국)



실시간 디바이스 통합



[그림 2.108] 향후 실시간 디바이스의 변화

4. 기술동향 분석 결론 및 시사점

가. 지능형 센싱기술

- 전 세계적으로 철도 서비스 품질 및 안전에 대한 요구가 증가함에 따라 철도 구성품 상태 정보를 모니터링하고 처리하는 기능 요구가 증대하고 있으며, 각국에서는 모니터링 시스템 및 이를 활용한 유지보수 시스템 개발에 앞장서고 있음
- 머신러닝 기법을 적용한 머신비전 기술은 철도 차량 외관 검사 및 영상기반 안전진단에 널리 적용될 수 있는 기술임. 이를 활용할 경우 철도차량 유지보수 시간을 줄이고, 효율 및 품질을 높일 수 있을 뿐만 아니라 모니터링 및 데이터 분석을 통한 예방 정비를 수행할 수 있으므로 차량의 가용성이 증대됨
- 지능형 센싱기술을 이용하여 적용 가능한 모니터링 항목
축상 온도 모니터링/ 브레이크 패드 모니터링/ 브레이크 디스크 모니터링/차륜 프로파일 모니터링/ 판토타그래프 마모 모니터링/ 차륜 손상 모니터링/차체 외관 모니터링/ 대차 외관 모니터링/ 차량 하부 이상발열 모니터링 등

나. 이동식 자동검측기술

- 전 세계적으로 이동이 가능한 로봇기술을 기반으로 하여 검측을 자동화하기 위한 시도가 다양한 분야에서 이루어지고 있으며, 특히 배관, 송전선, 자동차 등의 분야에서는 실용적 수준까지 완성된 상태임
- 로봇기술은 이용 가능한 분야가 매우 많으므로 파급효과가 매우 클 것으로 예상되며, 안전, 국방 등의 분야에서 매우 공격적으로 연구가 진행되므로 관련 기술의 급성장이 예상되며, 가까운 시일 안에 고도화된 기술이 시장에 나올 것으로 예상됨
- 고성능의 로봇기술을 기반으로 여기에 첨단 센싱시스템(비전, 레이저 측정 등)을 탑재함으로써 수작업에 의존하던 검수작업을 로봇으로 일부 대체가 가능할 것으로 판단되며, 이러한 경우 데이터의 축적, 위험한 작업에의 노출빈도 저하, 3D 작업으로부터의 탈출 등 여러 가지 긍정적 효과가 나타날 것으로 기대됨

다. 자가진단기술

- 철도차량의 안전성 향상 및 유지보수 효율화를 위하여 모니터링 및 진단기술의 향상을 위한 기술개발에 노력을 하고 있으며, 특히 차량의 각종 상태를 모니터링하고 진단하기 위하여 Wireless 통신을 도입한 새로운 개념의 TCMS 개발 중에 있음.

- 차량부품의 진단을 위하여 현재까지는 하나의 물리량으로 고장상태를 평가하고 있었으나 환경변화에 따른 측정오차 등으로 고장상태의 진단에 오류가 발생하고 있으므로, 다양한 물리량, 진동, 온도 및 음향 등의 측정데이터와 검수데이터를 복합적으로 평가하여 현재 상태를 진단하고 향후상태를 정확히 예측하는 기술을 개발 중에 있음.
- 차량의 상태를 모니터링하기 위해서는 차량에 설치된 수많은 센서와 지상에 설치된 진단장비에 데이터는 문자뿐만 아니라 영상도 포함되어 있는 빅 데이터로써 이를 이용하면 정확한 진단을 할 수 있음. 최근에 철도차량의 유지보수에 효율성을 높이기 위하여 인공지능, 빅 데이터 분석 기술을 적용하고 있음.

라. 능동 유지보수기술

- 최근 철도선진국에서는 센싱 데이터 기반으로 유연하고 합리적인 유지보수 주기와 계획을 수립하기 위한 대책마련에 부심하고 있음. IT기술과 센싱기술의 비약적인 발전에 따라 경험적이고 일률적인 유지보수가 아닌 차지상 데이터와 축적된 데이터로 합리적이고 비용절감적인 차량 유지보수를 수행하기 위해 노력하고 있음
- 차량 센서로부터 또는 지상으로부터 수신된 센싱 데이터를 고장 진단에만 국한되어 사용하던 경향에서 벗어난 축적된 빅데이터로부터 차량 부품 고장예측과 발생추이, 사용주기 및 점검시기 등에 폭넓게 이용하는 기술이 적용되고 있음
- 차량 유지보수 기술분야에 있어서 무선 센서네트워크와 자동화된 센싱기술 발전에 힘입어 첨단화된 기술을 융합 접목시켜 차량 상태를 유지보수관리자가 종합적이고 용이하게 분석하는 기술이 구축되어야 함. 또한, 차량기기의 이상발생 또는 점검 필요시에는 모바일 기기를 가진 현장 작업자 또는 접근이 어렵고 힘든 사이트에서는 자동화된 기기에 즉시 전달하여 대응하는 능동적인 유지보수 기술 개발이 요구됨

마. 기술수준분석 시사점

[표 2.23] 국내외 기술수준 분석

기술분야	국외기술수준	국내기술수준(개발전)	국내기술수준(개발후)
지능형 센싱기술	· 미국에서는 화차의 제동시스템을 모니터링하기 위한 스마트 센서를 개발하였으며 스마트 센서는 자가발전이면서 무선통신이 가능하도록 개발함.	선진기술의 70% 수준 · 지능형 센싱 기술은 미국, 일본, 독일이 세계시장 70% 이상 점유하고 있으며 국	선진기술의 90% 수준 · 지능형 센싱기술은 무선전송기술과 전력기술의 핵심기술이 요구되

기술분야	국외기술수준	국내기술수준(개발전)	국내기술수준(개발후)
	<ul style="list-style-type: none"> · 머신비전센싱은 터널의 결함 검사, 금속표면 결함검출 등에 대한 연구가 진행되고 있으며, 의료 영상을 바탕으로 진단 수행을 돕는 영상기반 진단분야에도 활용되고 있음 	<p>내기술은 세계 7위 수준을 보유하고 있음(2107년 차세대 스마트 센서기술 및 산업 전망 세미나, 2017.1.18.)</p> <ul style="list-style-type: none"> · 한국철도기술연구원에서는 차량 중요장치의 상태를 자동으로 센싱, 측정된 데이터를 무선으로 전송하는 ‘철도시스템 미래형 무선 스마트 autonomous 센싱기술’을 개발하고 있음 	<p>는 분야로서 스마트 센서 기술은 비약적으로 발전되고 있으며 철도 분야 적용을 위한 발빠른 기술대응이 요구되는 분야이며 이러한 기술이 접목되어 기술완료되면 선진기술 대비 90% 수준</p>
자동검측 기술	<ul style="list-style-type: none"> · 미국 교통기술센터과 독일의 KleinTech에서는 Machine Vision, Infrared Vision, 3D 레이저 스캐너를 이용하여 철도차량의 주요부분을 자동으로 검사하는 시스템을 개발 · Bombardier에서는 자동 차량 검사시스템을 개발, 차량장치 측정시스템과 의사결정 지원 S/W로 구성하여 자동검측하고 있음 · 중국과 일본에서는 차량 주요 부품의 외관 검사 및 주행장치에 대한 자동 검측시스템을 개발하여 운영하고 있음  	<p>선진기술의 60% 수준</p> <ul style="list-style-type: none"> · 국내 차량기지는는 차륜, 차축, 제륜자, 팬터그래프에 대한 자동검사장치가 구축되어 있으며 일상 검사장치의 고도화를 노력을 하고 있음 · 차륜/제륜자/팬터그래프의 하부와 옥상기기의 검사 및 모니터링 분야는 IT와 신기술을 융합하여 연구개발이 요구됨 	<p>선진기술의 80% 수준</p> <ul style="list-style-type: none"> · 머신러닝 기법을 적용한 스마트 센싱 기술은 철도 차량 외관 검사 및 영상기반 안전진단에 널리 적용될 수 있는 기술이며 이를 적용 개발할 경우 철도차량 유지보수 시간을 줄이고, 차량가용성 증대 효과 · 차량 주요 부품에 대한 축적된 검측기술을 활용하여 기술개발 완료 후 선진 기술대비 80%이상 수준
자가진단 기술	<ul style="list-style-type: none"> · 유럽의 Shift2Rail 프로젝트에서는 차량의 안전과 신뢰성 수준을 높이기 위하여 차량과 구성품 사이의 무선 정보전달을 기본으로 하고 있는 차세대 TCMS개발을 수행 중에 있음 	<p>선진기술의 70% 수준</p> <ul style="list-style-type: none"> · 차량상태의 실시간 정보 시스템을 이용하여 고장 상태를 전송하는 TCM 기술이 적용되고 있음 	<p>선진기술의 90% 수준</p> <ul style="list-style-type: none"> · 최근에 철도차량의 유지보수에 효율성을 높이기 위하여 인공지능, 빅 데이터 분석 기술을 적용하여 자가진단 기

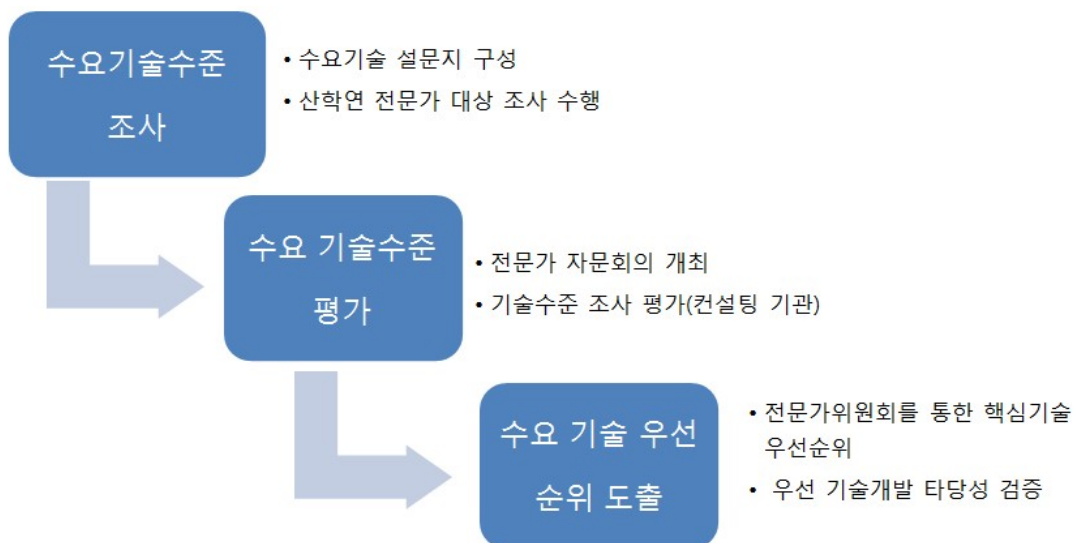
기술분야	국외기술수준	국내기술수준(개발전)	국내기술수준(개발후)
			<p>술을 도입하고 있음</p> <ul style="list-style-type: none"> 제한적인 정보전송과 고장 상태 전송의 연계 방안을 고려하여 기술 개발 완료할 경우 선진 기술 대비 90% 수준
<p>능동유지 보수기술</p>	<ul style="list-style-type: none"> RTRI와 JR동일본에서는 ICT를 활용한 저비용 유지보수기술 개발을 진행하고 있음. 스마트한 의사 결정은 더 지며 유지 보수 수준과 비용 간의 관계를 명확하게 시각화 할 수 있어 정확한 유지보수시기의 결정을 내릴 수 있음. Bombardier에는 ‘Oribita ‘ 차량 유지보수 데이터분석 및 계획수립 프로세스를 가지고 유지보수데이터 검측, 분석, 계획 수립, 부품관리 계획 등의 종합적인 유지보수 지원시스템을 운영하고 있음 	<p>선진기술의 60% 수준</p> <ul style="list-style-type: none"> 국내에서 고속철도와 도시철도에 대한 차량유지보수 관리 시스템이 각 운영 기관에 구축되어 있음 상태기반 유지보수체계 실행방안과 빅데이터 기반 유지보수전문가시스템에 대한 연구개발이 수행되고 있음 실시간 철도 안전관제 시스템에 의한 철도안전 의사결정 지원시스템이 구축될 예정임 	<p>선진기술의 80% 수준</p> <ul style="list-style-type: none"> 차량의 이상발생 또는 점검 필요시에는 모바일 기기를 가진 현장 작업자 또는 접근이 어렵고 힘든 사이트에서는 자동화된 기기에게 즉시 전달하여 대응하는 능동적인 유지보수 기술 개발 개념이 유지보수의 미래상으로 제시되고 있으며 기술개발 완료후 선진 기술대비 80% 이상 수준

4절 기술수준 분석

1. 기술 수요조사

가. 기술수요 조사의 목적 및 절차

- 기술 수요조사의 목적은 미래 국가 및 기업에서 필요성이 높을 것으로 예상되는 기술을 세부기술과제 수준에서 도출하여 기술개발 우선순위를 파악하고 기술개발과제간의 효율적인 자원배분 방안을 마련하기 위한 사전 조사
- R&D 기획 과제로 추진할 관련 기술을 발굴하고, 개발 우선순위를 도출하기 위해 수요조사, 기술 수준 분석, AHP 방법론을 활용한 과제 우선 순위 도출 프로세스를 수립, 본 연구의 목적에 부합하면서 산업 내의 개발 수요가 있는 기술을 발굴하기 위해 수요조사 및 기술 수준 분석, 우선순위 조사 등 3단계 조사 체계를 구축
- (기술 수요 조사) 관련 산업 내 기술개발 수요를 반영하여 과제를 기획하기 위해 관련 기업, 연구기관, 대학 등 영역별 전문가들을 대상으로 기술 수요조사를 수행. 수요조사는 철도차량 유지보수 관련 산업 내 수요를 반영하고자 철도차량의 기술개발을 수행하는 산학연 대상으로 방문 혹은 e-Mail을 통해 관련 기술의 개발 수요를 파악.
- (기술 수준 평가) 수요조사 결과를 토대로 기술 수준을 평가하고, 30개 내외의 세부기술 선별 상위수준의 기술단위(10개 단위 내외) 그룹핑에 대해 전문가 위원을 대상으로 조사를 수행하고 수요조사 결과 도출된 후보 기술(10개 내외의 상위 기술)에 대한 기술 수준 평가



[그림 2.110] 기술 수요조사 및 우선 기술순위 도출 절차

- (기술 우선순위 도출) 수요기술과 기술 수준조사 평가를 기반으로 전문가위원의 AHP방법론을 수행하여 관련 기술들의 기획과제 우선순위를 평가, 사전에 선정한 전문가위원을 대상으로 필요성, 부합성, 시급성, 성공가능성, 파급효과 측면에서 각 기술별 정량점수로 평가하여 기획과제의 기술개발 우선순위를 결정

나. 기술 수요조사의 활용

- 기술수요조사 결과를 활용한 기술분류체계, 동향 및 환경분석 보완
- 기술 수준분석을 위한 우선 순위 기술명 도출에 활용
- 향후 중점분야 선정 및 수행과제 선정에 활용
- 중점분야별 후보기술 발굴의 자료로 활용

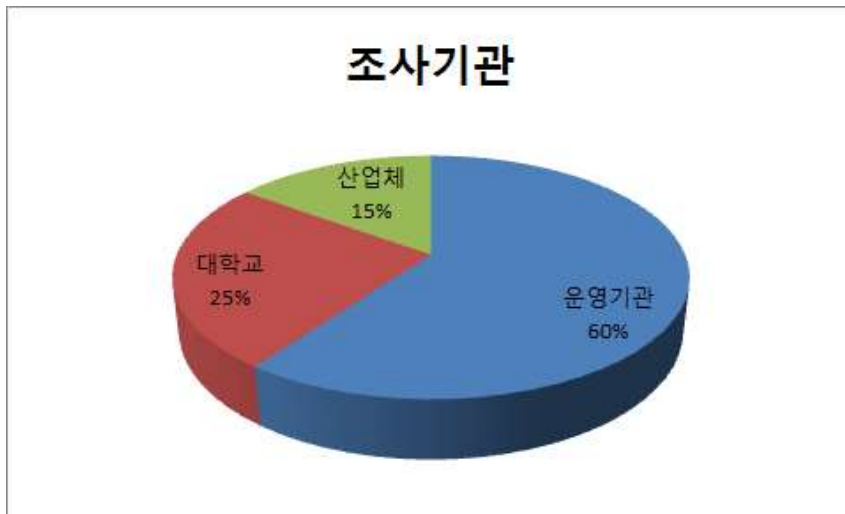
다. 기술 수요조사 발송 및 응답 결과

- 기술수요 조사 대상은 기획 참여연구원, 자문위원, 외부전문가를 대상으로 방문 협의 및 메일 발송을 통해 조사

구 분	내 용
조사기간	2017. 1. 9 ~ 2017. 2. 20
조사대상	산학연 외부전문가
조사방법	이메일, 방문을 통한 설문조사
응답기관	한국철도공사, 서울메트로 외 10개 기관
기술 수요조사 내용	<ol style="list-style-type: none"> 1. 산업기술분야에서의 업무수행 분야 2. 기술의 중요성 3. 기술 또는 유사기술의 활용 여부 4. 활발히 적용되고 있는 기술 5. 시급한 연구가 필요한 기술 분야 6. 기술 개발의 필요성 7. 기술 적용 적합 차량 유형 8. 성능요구사항 주요 항목 9. 핵심 성능요구사항 10. 기술 개발 시 문제점과 사유 11. 국내외 관련 기술 보유기관 또는 제작사 12. 국내외 관련 기술관련 전문가 13. 기술 활용시 기대효과 14. 기술 분야별 활용시 세부활용방안 15. 적정 연구개발 예산 및 기간

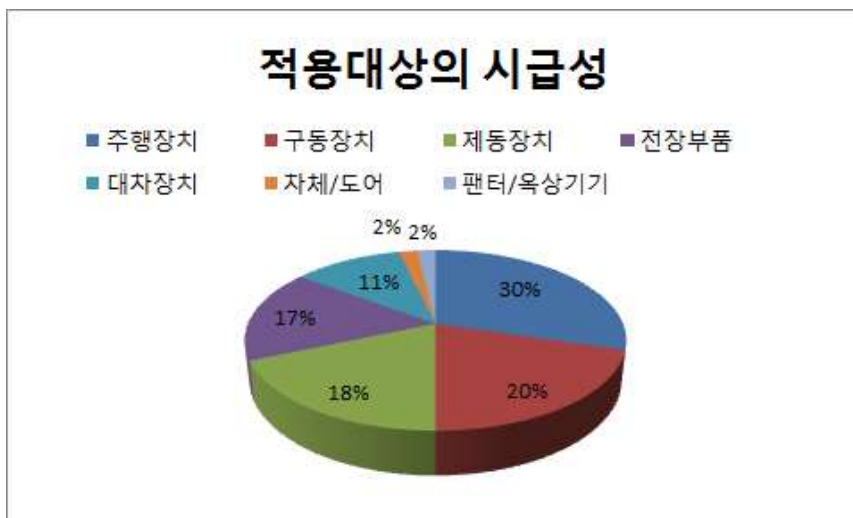
구 분	내 용
	16. 제안하는 연구과제 17. 기술개발 필요성 18. 기대효과 및 파급효과 19. 예산 및 기간

- 기술수요 조사 응답현황에서 운영기관(60%), 대학교(25%), 산업체(15%)의 순서로 응답율이 높음



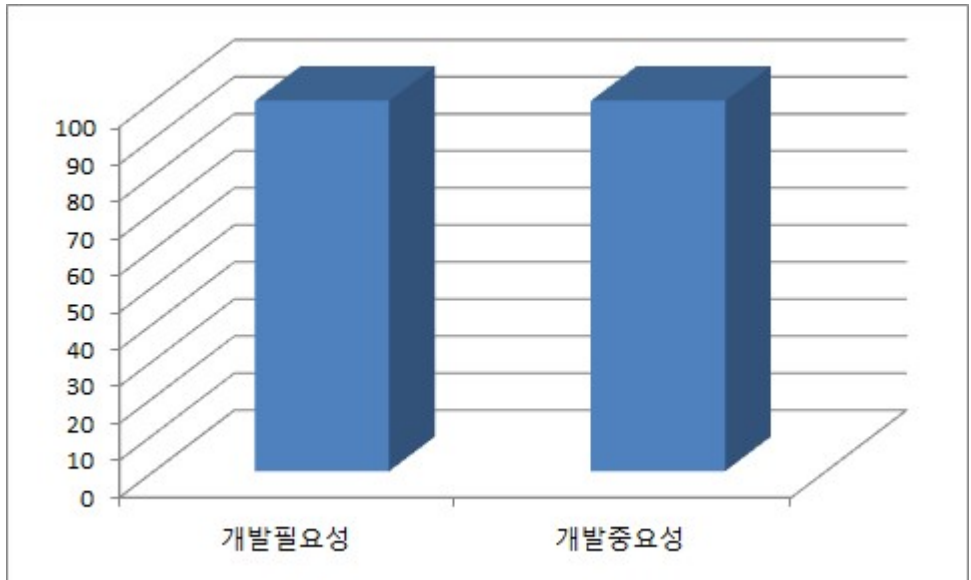
[그림 2.111] 기술수요조사 기관별 응답비율

- 자가진단 유지보수 기술이 시급하게 요구되는 차량기기는 주행장치, 구동장치, 제동장치, 전장부품, 대차장치 순서로 나타났으며 차량의 안전운행에 관련된 핵심장치 순서로 설문 조사 결과가 나타남



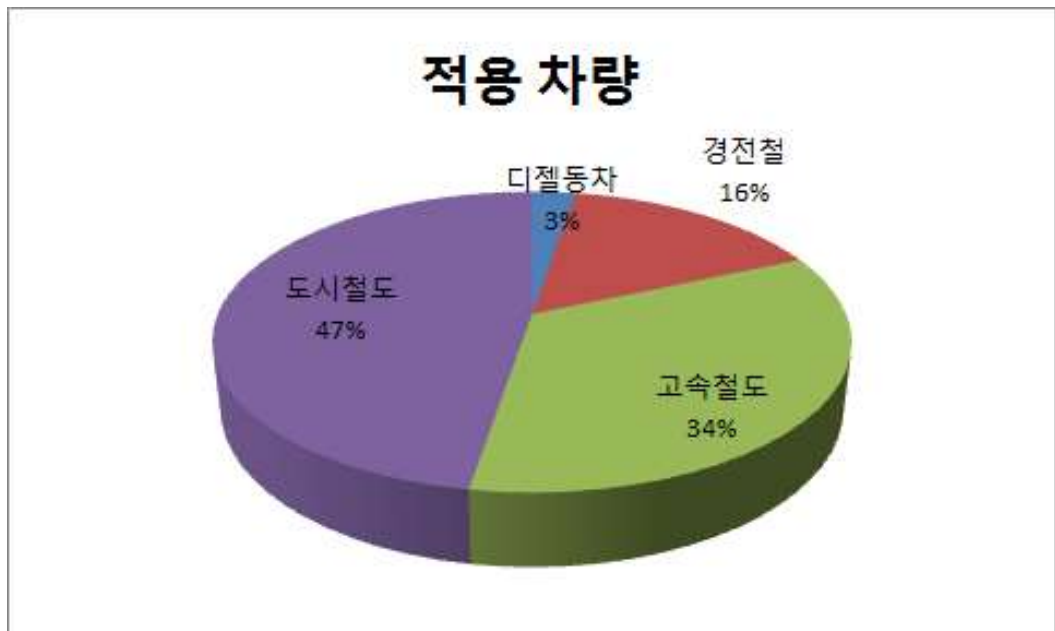
[그림 2.112] 유지보수 기술이 시급하게 적용되어야 하는 차량 기기

- 자가진단 유지보수 기술 개발의 필요성과 중요성에 대해서는 조사기관 모두 필요성과 중요성에 대해 100% 인식하고 있는 조사결과가 나타남



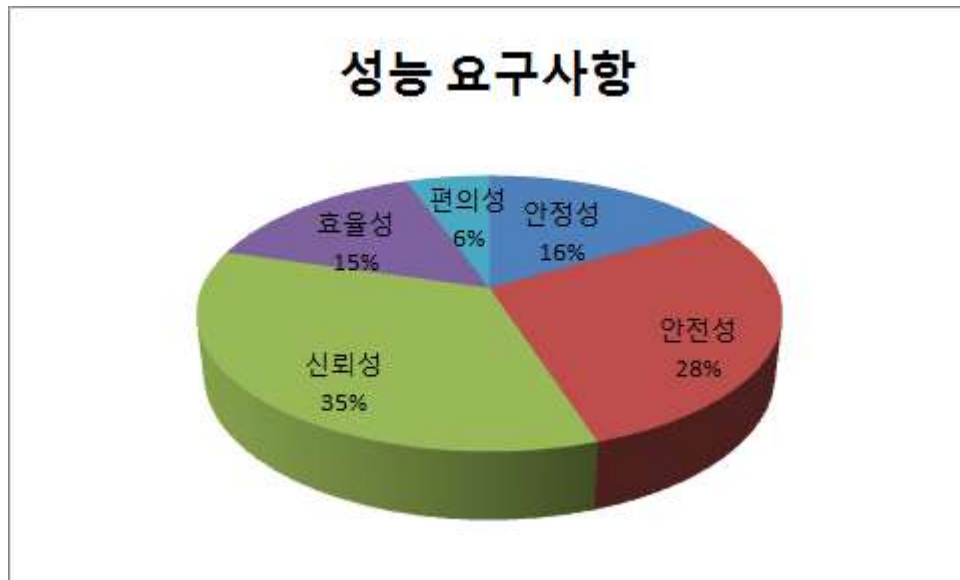
[그림 2.113] 자가진단 유지보수 기술의 개발필요성과 중요성

- 제안된 과제의 적용 차량으로 도시철도와 고속철도의 기술수요가 가장 높게 나타남



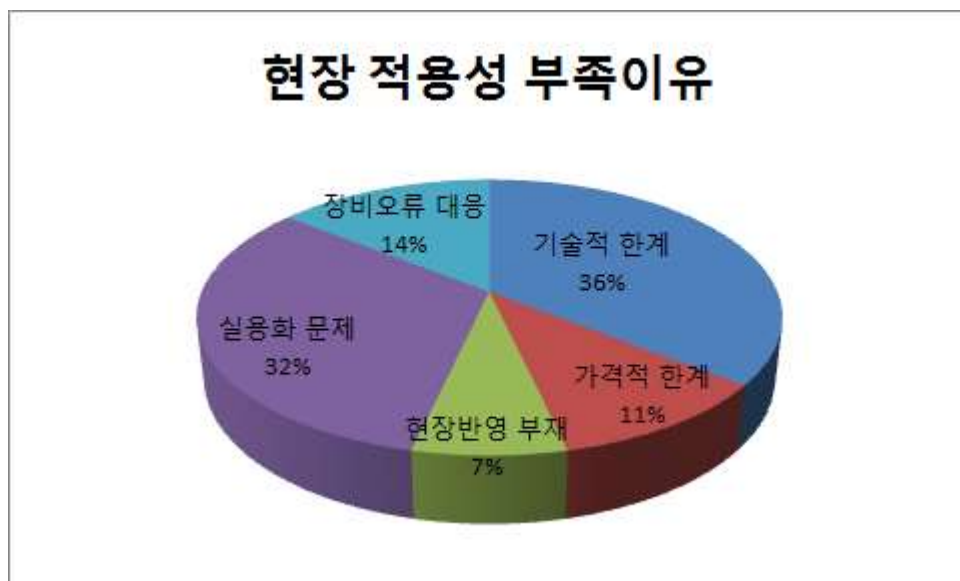
[그림 2.114] 기관별 기술수요조사 응답결과

- 자가진단 유지보수기술의 성능 요구사항으로는 신뢰성, 안전성, 안정성, 효율성 순서로 나타남. 구축될 유지보수 장비에 대한 최우선 고려사항은 고신뢰성이 수반되어야 할 것으로 조사되었으며 운영기관에서 가장 우선 순위로 조사되었음



[그림 2.115] 제안될 과제의 개발장비에 대한 성능 요구사항의 우선순위

- 제안 과제에서 개발된 장비의 현장적용성이 부족한 이유에 대해서는 실용화에 대한 문제, 앞선 문항에서의 장비 신뢰성 문제와 귀결되고 있으며 기술적 한계와 가격, 장비 운영시 내구성과 예러 대응 문제로 조사되었음



[그림 2.116] 개발장비에 대한 현장 적용성 결여 이유

라. 제안과제 도출

- 지능형 자가진단 기반 능동유지보수 기술분야의 기술수요 조사 결과 총 33개의 관련 연구개발이 필요한 것으로 파악됨

[표 2.24] 기술수요조사 제안과제 리스트

제안 과제
고장방지 및 예측을 위한 유지보수 시스템 구성(데이터 활용, 피로도 계산 등)
철도차량 유지보수 스케줄링 시스템
전동차 고장 능동적 예측 프로그램 개발 및 전장품 수요기준 정립
추진제어용 전력변환장치 자가진단기반 유지보수기술 개발
철도차량 스마트 모니터링 시스템 개발
센싱데이터를 이용한 유지보수 최적화 기술 개발
기존유지보수체계와 자가진단을 통한 유지보수 활동의 통합화 기술
센싱데이터를 이용하여 고정여부판단 알고리즘 개발
차상과지상의 자동화된 모니터링 시스템과 원격제어기술이 통합된 유지보수기술
대차 등 주행장치의 손상 등을 감지할 수 있는 기술 개발
지상 자동센싱 기술 및 검측장비 개발
손상예측 열화모델 기술 개발
각각의 이상검지 시스템을 연결 통합관리 시스템화 기술
신뢰성이 확보된 계측장비 시스템 개발(현재 시스템 고도화를 통한 신뢰성 향상)
빅데이터를 활용한 신뢰성 향상에 대한 연구(지능형 능동유지보수 기술 개발)
운영 중에 진단할 수 있는 기술개발(센싱기술 고도화)
고장예측 시뮬레이션 기술 개발(고장예측 모형개발 및 고도화)
교체주기판단 기준정립 기술 개발
다변/다점 측정 물리량을 통한 진단 기술 개발
차지상센싱 데이터를 이용한 차량 종합 진단시스템 구축 기술
기지 피트공간 이동형 차량 하부기기 진단 기술 개발
고장진단 데이터의 히트맵핑 처리 기술 개발
차량핵심기기와 전장 부품의 잔여수명 및 교체시기 평가 기술
차량 중요장치의 기능저하 예측 및 자동 통보 기술
일월상검사시 차량 상태의 가시화 기술 개발
압전재 기술을 활용한 차륜-레일 인터페이스 측정 및 제작 기술
주행하는 차륜 결함의 고정도 검출시스템 설계 및 제작 기술
적외선 어레이에 의한 차량하부상태의 이력 평가 기술
차량 진단 데이터의 대용량 전송 및 영상화 이미지 처리 기술
가상시뮬레이션을 이용한 세부고장 진단 및 조치방법 현시 기술
M2M을 이용한 차량 고장처리 및 대응 기술
차량 외관상태(비전기술) 센싱 자동화 및 장치 기술 개발
차륜/제륜자 마모상태(레이저/비전기술) 센싱 자동화 및 장치 기술개발
차륜/제동디스크 손상상태(전자기 기술) 센싱 자동화 및 장치 기술개발

- 우선순위 분석은 철도산업관련 산·학·연 전문가를 대상으로 설문조사를 실시하여 후보과제 33개에 대하여 ‘개발 타당성’ 과 ‘실현 용이성’ 을 기준으로 우선순위 결정을 위한 조사를 실시함. 연구개발 내용 및 기술 활용 관점에서 복수 이상의 제안과제 간 연관성 정도를 사전에 분석하고, 연계 개발 필요성이 높은 경우 하나의 과제로 통합하여 17개 후보과제를 선정



[그림 2.113] 기술수요조사 및 자문회의에 의한 중복 후보과제 통합

[표 2.25] 후보 기술과제 리스트(17개)

번호	제안과제명
과제1	능동대응 유지보수기술 및 지원시스템 개발
과제2	차상 상태 지능형센싱(TCMS+) 기술 개발
과제3	손상진단 및 예측 정확성 향상을 위한 복합진단기술 개발
과제4	이동식 로봇기반 상세검측(외관/마모)기술 개발
과제5	주요부품 정량적 손상평가를 위한 열화모델 개발
과제6	차륜/제륜자 마모상태(레이저/비전기술) 센싱 자동화 및 장치 기술개발
과제7	추진제어용 전력변환장치 자가진단기반 유지보수기술 개발
과제8	기존유지보수체계와 자가진단을 통한 유지보수 활동의 통합화 기술
과제9	지상 자동센싱 기술 및 검측장비 개발
과제10	신뢰성이 확보된 계측장비 시스템 개발
과제11	차-지상센싱 데이터를 이용한 차량 종합 진단시스템 구축 기술
과제12	일월상검사시 차량 상태의 가시화 기술 개발
과제13	압전재 기술을 활용한 차륜-레일 인터페이스 측정 및 제작 기술
과제14	차량 진단 데이터의 대용량 전송 및 영상화 이미지 처리 기술
과제15	가상시뮬레이션을 이용한 세부고장 진단 및 조치방법 현시 기술
과제16	차량 외관상태(비전기술) 센싱 자동화 및 장치 기술 개발
과제17	차륜/제동디스크 손상상태(전자기 기술) 센싱 자동화 및 장치 기술개발

- 목표부합성과 인프라 적정성 2개 항목에 대한 평가를 “상/중/하”의 3단계로 수행하고, “중중” 이상의 제안과제를 최종적으로 선정. “중하”, “하중”, “하하” 과제의 경우 제외
- (목표 부합성) 과제의 연구개발 결과물이 본 기획의 목표달성에 부합하는 가 평가
- (인프라 적정성) 과제수행을 위해 필요한 제반 인프라가 갖추어져 있는가를 평가하는 항목으로, 개발 비용, 관련 인력현황, 보유 특허 현황 등을 감안하여 평가
 - 기술개발 예상소요 비용이 본 기획과제의 예산 수준에 부합할 것
 - 과제를 수행할 수 있는 해당 분야의 전문 연구인력이 국내에 충분할 것
 - 과제 수행에 필요한 제반 특허 및 기술력을 국내 기관(기업 포함)이 보유하고 있을 것

[표 2.26] 목표부합성과 인프라 적정성에 의한 선정 과제리스트

제안과제명	연구개발 내용
능동대응 유지보수기술 및 지원시스템 개발	주요장치의 상태에 기반한 적기 유지보수를 위해 가용자원 및 스케줄을 최적화 하기 위한 지원시스템 개발
차상 상태 지능형센싱(TCMS+) 기술 개발	지능형 센싱기술 통하여 차량 고장여부 진단하고 점검여부를 판단하는 기술 개발
손상진단 및 예측 정확성 향상을 위한 복합진단기술 개발	진동, 온도, 전류 등 복합데이터의 처리를 통하여 손상진단에측의 정확성을 향상하기 위한 복합진단기술 개발
이동식 로봇기반 상세검측(외관/마모)기술 개발	고정형 검측기술로 커버하지 못하는 부분에 대한 상세검측을 위해 이동이 가능한 로봇을 이용한 상세검측 기술 개발
주요부품 정량적 손상평가를 위한 열화모델 개발	차륜, 제륜자 등 손상의 진행상태를 정확히 파악하기 위한 열화모델 개발을 위한 기술개발
차륜/제륜자 마모상태(레이저/비전기술) 센싱 자동화 및 장치 기술개발	레이저/머신러닝 기술을 이용하여 차륜과 제륜자의 마모상태/한도를 자동측정 평가하는 고도화된 시스템 개발
기존유지보수체계와 자가진단을 통한 유지보수 활동의 통합화 기술	현재 수행되고 있는 인력에 의존하는 도착, 일상, 월상검수 중 자동화가 가능한 항목에 대한 자동화를 통하여 유지보수 활동을 통합하는 기술
차지상센싱 데이터를 이용한 차량 종합진단시스템 구축 기술	차지상 센싱 획득데이터에서 차량상태를 종합적으로 판단하는 통제 시스템 구축 기술 개발
차량 외관상태(비전기술) 센싱 자동화 및 장치 기술 개발	차량외관(차체/연결부의 변형/손상/이완을 고속화된 비전기술과 AI알고리즘으로 평가하는 기술 개발
차륜/제동디스크 손상상태(전자기 기술) 센싱 자동화 및 장치 기술개발	전자기어레이 센싱기술을 이용하여 차륜과 디스크의 손상도를 평가하는 자동화 시스템 개발

‘스마트 철도 핵심기술개발’ 을 위한 기술수요조사 (철도차량 지능형 자가진단 기반 능동유지보수 기술)

안녕하십니까?

한국철도기술연구원에서는 스마트철도 핵심기술개발을 위해 정부 R&D 사업을 기획 중에 있습니다.

본 전문가 수요조사는 한국철도기술연구원에서 개발 예정인 철도차량 지능형 자가진단 기반 능동유지보수 기술의 핵심기술을 도출하기 위한 조사입니다.

금번 조사를 통해 ‘철도차량 지능형 자가진단 기반 능동유지보수 기술개발’ 과제의 세부 적용분야를 파악하고, 철도건설 및 운영기관, 철도산업계에서 필요로 하는 기술 요구 사항 및 활용 분야 등을 파악하는데 활용하고자 합니다.

위원님의 성실한 답변은 동 기획의 중요한 자료로 활용될 예정이며, 기획과제 이외의 목적으로는 사용되지 않을 것이며, 통계법 제33조(비밀의 보호)에 따라 개인 신상 정보는 엄격히 보호되어질 것입니다.

본 조사에 관한 문의사항이 있으시면, 아래의 수요조사 담당자에게 연락부탁드립니다.

- 수요조사 담당자
- 한국철도기술연구원 피로손상연구팀 권석진 책임연구원(031-460-5249, sjkwon@krti.re.kr)

2017. 02.

주관연구기관 : 한국철도기술연구원

< 응답자 정보 >

성명		성별		연령	
소속기관/부서		E-mail			
직위		연락처(휴대폰)			

1 철도차량 지능형 자가진단 기반 능동유지보수 기술개발 일반사항

○정의 및 핵심 개념

차지상 모니터링과 자동 검측장치를 이용한 지능형 자가진단 기술 및 차량 능동유지보수기술 개발

○연구개발 필요성

- 승객 및 운행밀도 증가와 노후차량 증가로 인한 고장건수 증가
- 유지보수 검측장비의 외산도입으로 장애 발생시 신속대응 어려움
- 첨단기술 적용에 의한 자동 검측장비의 도입을 통해 3D(difficult, dirty, dangerous) 유지보수 작업의 개선 필요

○연구개발에 따른 기대효과

- 유지보수데이터의 자동추적에 의한 차량 주요장치 장기 상태변화 분석 및 고장예방을 통한 안전성과 가용성 향상
- 지능형 센싱과 자가진단 도입으로 적기에 검수 수행하여 유지보수 비용 절감
- 차량 상태기반 유지보수 체계 확립으로 고품질의 유지보수로 철도 신인도 향상

1. 귀하(귀사)는 철도차량 분야에서 구체적으로 어떤 업무를 수행하고 계십니까?

(예: 차량운전, 차량운행계획 수립, 차량유지보수 현장작업, 차량유지보수 계획 업무 등)

2. 철도차량분야에서 현행 유지보수작업에 지능형 자가진단기반 능동 유지보수기술의 도입이 중요하다고 생각하십니까? 혹 예라도 대답하셨을 경우 이유는 무엇입니까?

① 예(이유 : _____) ② 아니오

3. 철도차량의 지능형 자가진단기반 능동 유지보수기술(정의 참조) 또는 유사한 기술을 현업에 활용하고 계십니까?

① 예(활용분야 : _____) ② 아니오

4. 철도분야에서 적용되고 있는 지능형 자가진단기반 유지보수기술을 알고 계십니까 ? 혹시 알고 계시면 적용되고 있는 기술을 자유롭게 작성해 주시기 바랍니다.

12. 귀하가 알고 계신 국내외 관련 기술 보유 기관 또는 제작사가 있으시면 작성해 주시기 바랍니다. (5번 문항의 기타답변이 있다면 기타에 작성바랍니다.)

항목	기술 분야	보유기관(제작사)/분야 (작성가능부분만 작성)
1	차체/대차/팬터 외관검사 기술	/
2	주행/집전/제동/추진제어 장치 진단 센싱 기술	/
3	차상 진단용 IoT 센싱 기술	/
4	주행/집전/제동/추진제어 장치 손상진단 및 예측기술	/
5	차량상태 유지보수 스케줄링기술	/
6	차량손상상태 가시화 기술	/
7	모바일기반 검수지원시스템 기술	/
8	출입고 차량의 정밀상태 자동 검측 기술	/
9	전장품 상태 검사 기술	
10	기타()	/

13. 귀하가 알고 계신 국내외 관련 기술 전문가 있으시면 작성해 주시기 바랍니다. (5번 문항의 기타답변이 있다면 기타에 작성바랍니다.)

항목	기술 분야	전문가 / 분야 (작성가능부분만 작성)
1	차체/대차/팬터 외관검사 기술	/
2	주행/집전/제동/추진제어 장치 진단 센싱 기술	/
3	차상 진단용 IoT 센싱 기술	/
4	주행/집전/제동/추진제어 장치 손상진단 및 예측기술	/
5	차량상태 유지보수 스케줄링기술	/
6	차량손상상태 가시화 기술	/
7	모바일기반 검수지원시스템 기술	/
8	출입고 차량의 정밀상태 자동 검측 기술	/
9	전장품 상태 검사 기술	
10	기타()	/

13. 귀하(귀사)는 지능형 자가진단기반 유지보수기술 활용 시 기대되는 효과는 무엇이라고 생각하십니까?

☞ 세부효과 예 : 유지보수 작업 편의성, 유지보수 효율화, 여객편의 서비스 개선, 운송/물류 효율화, 고장 감시 효율화, 고장발생을 저감, 운영비 절감, 사고감시 및 대응, 열차운행 효율화/가용성 증대, 기타 등

14. 지능형 자가진단기반 유지보수기술의 각 분야별 활용 시 세부적인 활용방안은 무엇이라고 생각하십니까?

15. 지능형 자가진단기반 유지보수기술의 적절한 연구개발 예산 및 기간은 어느 정도로 생각하십니까?

예산	백만원	기간	년
----	-----	----	---

2 지능형 자가진단기반 유지보수기술 관련 수요 조사

☞ 철도 기술발전에 기여 가능한 지능형 자가진단기반 유지보수기술 관련하여 필요한 기술 개발을 위한 연구과제 제안

16. 지능형 자가진단기반 유지보수기술 개발을 위하여 귀하(귀사)가 필요하다고 생각하는 연구과제는 무엇입니까?

예 : 계측점검 시스템의 고도화, 계측장비의 자동화, 교체주기 판단기준 기타 등

☞ 제안하는 기술의 핵심사항, 연구 목표, 연구개발 결과물에 대해 기술해주시기 바랍니다.

17. 제안하는 기술의 경제적·산업적 중요성 측면에서 국내 기술개발 효과 및 정부지원의 필요성, 민간부분과의 역할분담 등에 대해 구체적으로 기술해주시기 바랍니다.

국내 기술개발 효과	
정부지원의 필요성	
민간부분과의 역할분담	

18. 제안해주신 연구개발과제로 예상되는 기대효과 및 경제적·기술적·정책적 파급효과 등을 작성해 주십시오.

19. 제안해주신 연구개발과제를 위해 소요될 것으로 예상되는 기간 및 예산을 작성해주십시오.

예산	백만원	기간	년
----	-----	----	---

설문에 응답해 주셔서 감사합니다.

2. 기술예측조사

가. 조사 개요

(1) 조사 목적

- 철도 기술의 실현시기, 기술수준 등 기술특성의 변화속도를 정량적으로 평가하여, 이를 본 기획의 기술개발 추진전략을 수립하기 위한 기초자료로 활용

(2) 조사 기간 및 장소

- 2017년 3월 22일(수) ~ 24일(금), 한국철도기술연구원

(3) 조사 대상

- 능동유지보수기술 분야 산학연 전문가 7인

(4) 조사 절차 및 내용

- 기술 예측조사 대상기술 선정, 기술예측조사 수행, 후보과제 도출 프로세스에 따라 기술 예측조사 실시
 - (대상기술 선정) 유사·중복 과제 통합, 과제 적합성 평가 과정을 통해 기술예측 설문 조사 수행을 위한 대상기술 선정
 - (조사 수행) FGI를 통한 기술예측조사 실시 후 기술예측조사 결과 분석 수행
 - (후보과제 도출) 기술예측조사 결과를 바탕으로 후보과제 도출

[표 2.27] 기술예측조사 평가항목

조사 항목	내용
전문도	응답자의 해당 분야(기술)에 대한 기술적 전문도
중요도	해당 기술의 철도차량 실용화 기술, 사회경제 등의 발전에 미치는 영향 정도
기술 성숙도	해당 기술의 기술성숙도를 태동, 성장, 핵심, 기반 4단계로 구분
기술실현 예측시기	해당 기술의 실현 예측시기를 응답자가 직접 년도 선택
최고기술보유국	해당 예측기술에 대한 현재 기술수준이 가장 앞서있는 국가 선정
국내기술 수준	최고 기술 보유국 기술수준(100%) 대비 국내의 현재 기술수준의 정도
기술획득 방식	기술을 획득하기 위한 추진 방식 선택
실현상의 장애요인	해당기술을 실현하는데 장애가 되는 요인을 모두 선택

나. 대상기술 선정

(1) 유사·중복 과제 통합

- 능동유지보수기술 분야는 유사·중복 과제 통합 과정을 거쳐 1차 도출 제안과제 수 34개에서 최종 제안 과제 수 19개로 축소
 - 차상 이상상태 지능형 센싱, 이동식 자동검측, 차량 종합진단 시스템 등 공통 기술로 통합

[표 2.28] 유사·중복 제안 과제 통합

제안 과제	통합 과제명	통합 이유
철도차량 유지보수 스케줄링 시스템	능동대응 유지보수기술 및 지원시스템 개발	상태에 따른 능동대응을 위해 필요한 요소기술들로서 통합 연구를 통해 시너지를 높일 수 있을 것으로 판단
센싱 데이터를 이용한 유지보수 최적화 기술 개발		
고장진단 데이터의 히트맵핑 처리 기술 개발		
추진제어용 전력변환장치 자가진단기반 유지보수기술 개발		
차상과지상의 자동화된 모니터링 시스템과 원격제어기술이 통합된 유지보수기술	차상 이상상태 지능형센싱(TCMS+) 기술 개발	열차운행 중 차상에서의 센싱 데이터를 이용하여 차량을 실시간으로 진단하는 요소기술들로서 통합연구를 통해 중복을 제거하고 시너지를 높일 수 있을 것으로 판단
운행 중에 진단할 수 있는 기술개발 (센싱 기술 고도화)		
차량 중요장치의 기능저하 예측 및 자동 통보 기술		
대차 등 주행장치의 손상 등을 감지할 수 있는 기술 개발		
고장방지 및 예측을 위한 유지보수 시스템 구성 (데이터 활용, 피로도 계산 등)	주요 부품 열화모델 및 복합진단 기술 개발	차상 및 지상으로부터 측정된 다양한 데이터로부터 보다 신뢰성 있는 진단을 위한 요소기술들로서 통합연구를 통해 시너지를 높일 수 있을 것으로 판단
철도차량 스마트 모니터링 시스템 개발		
각각의 이상검지 시스템을 연결 통합관리 시스템화 기술		
빅데이터를 활용한 신뢰성 향상에 대한 연구 (지능형 능동유지보수 기술 개발)		
적외선 어레이에 의한 차량하부상태의 이력 평가 기술	이동식 자동검측장비 기술 개발	비접촉 검측기술을 기반으로 한 상세검측을 위해 필요한 요소기술들로서 통합연구를 통해 시너지를 높일 수 있을 것으로 판단
기지 피트공간 이동형 차량 하부기기 진단 기술 개발		
M2M을 이용한 차량 고장처리 및 대응 기술		

제안 과제	통합 과제명	통합 이유
손상예측 열화모델 기술 개발	가상시뮬레이션을 이용한 세부고장 진단 및 조치방법 현시 기술	주요부품의 열화모델 및 한계값의 설정을 통해 잔여수명 및 교체주기 예측이 가능할 것으로 판단
고장예측 시뮬레이션 기술 개발 (고장예측 모형개발 및 고도화)		
교체주기 판단 기준정립 기술 개발		
차량핵심기기와 전장 부품의 잔여수명 및 교체시기 평가 기술		
주행하는 차륜 결함의 고정도 검출시스템 설계 및 제작 기술	차지상센싱 데이터를 이용한 차량 종합 진단시스템 구축 기술	차륜센싱에 대한 기술의 통합 연구 수행
차륜/제륜자 마모상태(레이저/비전기술) 센싱 자동화 및 장치 기술개발		

(2) 과제 적합성 평가

- 최종 후보과제 선정을 위해 각 제안과제에 대해 목표 부합성 및 인프라 적정성에 대한 평가를 수행

[표 2.29] 목표 부합성 및 인프라 적정성 평가 결과

제안 과제명	평가 결과		최종 선정여부
	목표 부합성	인프라 적정성	
기존유지보수체계와 자가진단을 통한 유지보수 활동의 통합화 기술	상	중	선정
옥상장치 이상상태 센싱 기술 개발	상	중	선정
대차장치 이상상태 센싱 기술 개발	중	상	선정
이동식 자동검측장비 기술 개발	중	중	선정
전동차 고장 능동적 예측 프로그램 개발 및 전장품 수요기준 정립	중	하	제외
압전재 기술을 활용한 차륜-레일 인터페이스 측정 및 제작 기술	중	중	선정
차량 진단 데이터의 대용량 전송 및 영상화 이미지 처리 기술	중	중	선정
출차시 차량(측면,하부) 이상 상태 기술 개발	중	상	선정
차상 이상상태 지능형센싱(TCMS+) 기술 개발	중	중	선정
신뢰성이 확보된 계측장비 시스템 개발	상	중	선정
가상시뮬레이션을 이용한 세부고장 진단 및 조치방법 현시 기술	상	중	선정
센싱 데이터를 이용하여 고정여부판단 알고리즘 개발	하	하	제외
추진제어용 전력변환장치 자가진단기반 유지보수기술 개발	상	중	선정
차륜/제동디스크 손상상태(전자기 기술) 센싱 자동화 및 장치 기술개발	중	중	선정

제안 과제명	평가 결과		최종 선정여부
	목표 부합성	인프라 적정성	
주요 부품 열화모델 및 복합진단 기술 개발	중	상	선정
자동센싱 적용 하이브리드 유지보수체계 개편(안)도출	중	중	선정
능동대응 유지보수 기술 및 지원 시스템 개발	중	상	선정
다변/다점 측정 물리량을 통한 진단 기술 개발	하	중	제외
차지상센싱 데이터를 이용한 차량 종합 진단시스템 구축 기술	중	중	선정

- 능동유지보수기술 분야는 평가를 거쳐 총 19개의 제안과제 중 16개의 최종 후보과제를 선정하였으며, 이후 후보과제를 대상으로 기술예측조사를 수행

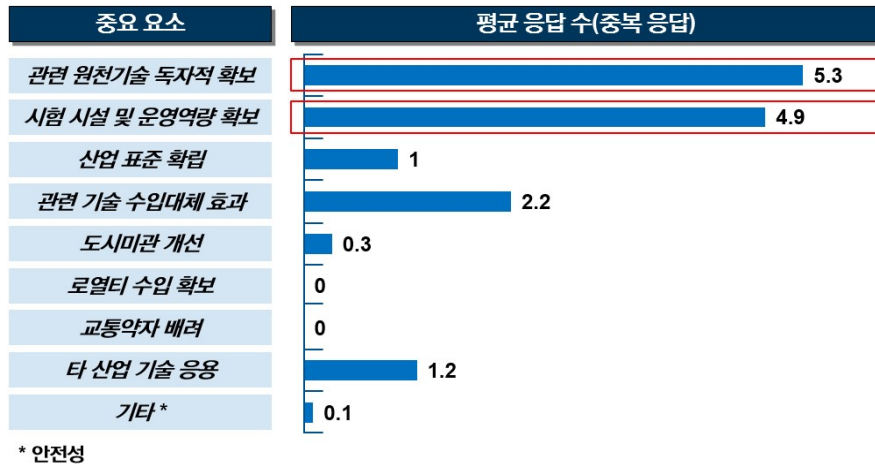
[표 2.30] 최종 후보과제 선정 결과

과제번호	후보 과제
C-01	육상장치 이상상태 센싱 기술 개발
C-02	대차장치 이상상태 센싱 기술 개발
C-03	이동식 자동검측장비 기술 개발
C-04	출차시 차량(측면,하부) 이상 상태 기술 개발
C-05	차상 이상상태 지능형센싱(TCMS+) 기술 개발
C-06	주요 부품 열화모델 및 복합진단 기술 개발
C-07	자동센싱 적용 하이브리드 유지보수체계 개편(안)도출
C-08	능동대응 유지보수 기술 및 지원 시스템 개발
C-09	신뢰성이 확보된 계측장비 시스템 개발
C-10	가상시뮬레이션을 이용한 세부고장 진단 및 조치방법 현시 기술
C-11	추진제어용 전력변환장치 자가진단기반 유지보수기술 개발
C-12	압전재 기술을 활용한 차륜-레일 인터페이스 측정 및 제작 기술
C-13	차량 진단 데이터의 대용량 전송 및 영상화 이미지 처리 기술
C-14	기존유지보수체계와 자가진단을 통한 유지보수 활동의 통합화 기술
C-15	차륜/제동디스크 손상상태(전자기 기술) 센싱 자동화 및 장치 기술개발
C-16	차지상센싱 데이터를 이용한 차량 종합 진단시스템 구축 기술

다. 조사 결과 분석

(1) 철도차량 기술 및 사회·경제 발전 측면의 중요 요소(중복선택)

- ‘관련 원천기술 독자적 확보’, ‘시험 시설 및 운영역량 확보’ 등 기술 연구·개발에 도움이 될 수 있는 요소들이 중요한 것으로 분석

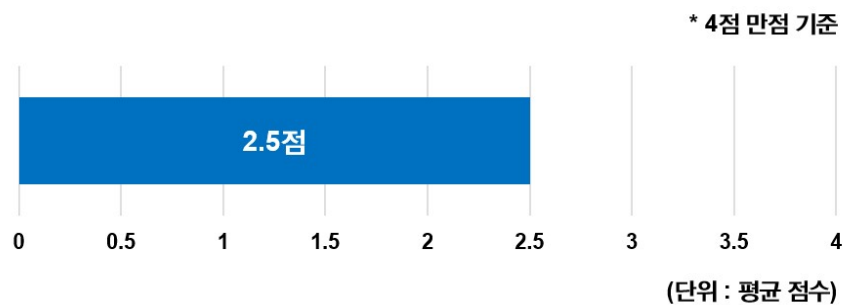


[그림 2.114] 능동유지보수기술 분야 기술 및 사회·경제 측면의 중요 요소

(2) 기술성숙도 수준(4점 척도 기준 평가)

1점 : 태동 단계, 2점 : 성장 단계, 3점 : 핵심 단계, 4점 : 기반 단계

- 평균 2.5점의 성장 및 핵심 단계 수준으로 조사됨에 따라, 고장 및 예방 진단 등 유지보수 측면의 국내 기술 개발 수준이 우수한 편인 것으로 분석



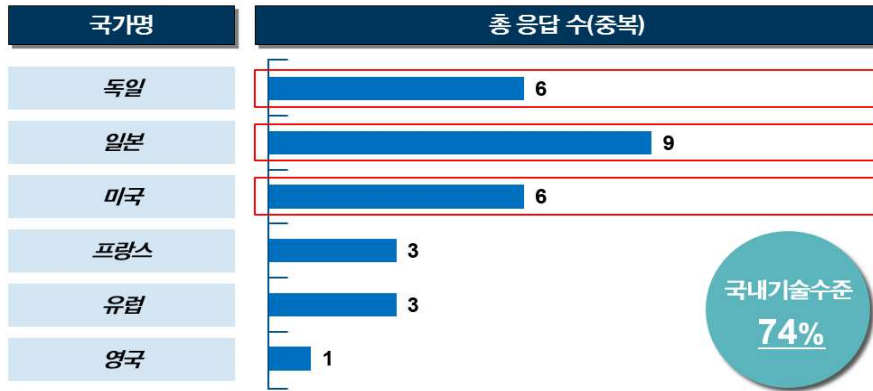
[그림 2.115] 능동유지보수기술 분야의 기술 성숙도 수준

(3) 기술 예상 실현 시기

- 평균 2021년으로 조사되어 4년 내 기술 실현이 가능할 것으로 예상됨에 따라, 현재 국내 기술력 수준이 타 분과 대비 높은 것으로 분석

(4) 최고기술 보유국 및 대비 국내 기술 수준(중복선택)

- 능동유지보수기술 분야의 최고기술 보유국은 일본이라는 응답이 가장 많았으며, 일본 대비 국내기술수준은 74%에 불과한 것으로 응답
 - 일본(32%) 다음으로 독일 및 미국(21%), 프랑스 및 유럽(11%) 등의 응답 순



[그림 2.116] 능동유지보수기술 분야의 최고기술 보유국 및 국내 기술 수준

- 세부 과제별 최고기술 보유국 또한 일본이 가장 많은 1순위로 조사
- 최고기술 보유국 대비 국내기술수준은 ‘가상시뮬레이션을 이용한 세부고장 진단 및 조치방법 현시 기술’, ‘추진제어용 전력변환장치 자가진단기반 유지보수기술 개발’ 이 80%로 가장 근접
 - 반면 ‘자동센싱 적용 하이브리드 유지보수체계 개편(안)도출’ 은 64%로서 가장 취약한 것으로 조사

[표 2.31] 후보과제별 최고기술 보유국 및 대비 국내 기술 수준 결과

과제 번호	후보과제	최고기술 보유국		국내 기술수준 (평균)
		1순위	2순위	
C-01	옥상장치 이상상태 센싱 기술 개발	미국	독일	68%
C-02	대차장치 이상상태 센싱 기술 개발	일본, 독일	유럽, 미국	75%
C-03	이동식 자동검측장비 기술 개발	일본, 독일	영국, 유럽	73%
C-04	출차시 차량(측면,하부) 이상 상태 기술 개발	미국	캐나다, 독일, 유럽, 일본	78%
C-05	차상 이상상태 지능형센싱(TCMS+) 기술 개발	독일	일본, 유럽, 프랑스	78%
C-06	주요 부품 열화모델 및 복합진단 기술 개발	일본	미국, 유럽	75%
C-07	자동센싱 적용 하이브리드 유지보수체계 개편(안)도출	미국	유럽	64%
C-08	능동대응 유지보수 기술 및 지원 시스템 개발	미국	독일, 영국	65%
C-09	신뢰성이 확보된 계측장비 시스템 개발	독일, 일본	유럽	78%

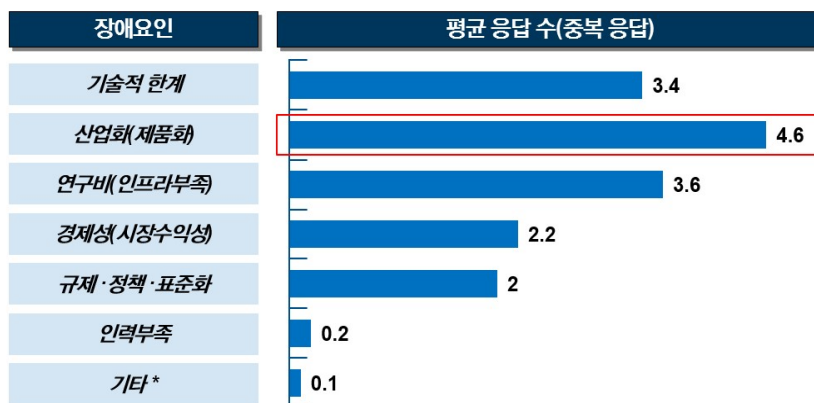
과제 번호	후보과제	최고기술 보유국		국내 기술수준 (평균)
		1순위	2순위	
C-10	가상시뮬레이션을 이용한 세부고장 진단 및 조치방법 현시 기술	미국, 일본	독일	80%
C-11	추진제어용 전력변환장치 자가진단기반 유지보수기술 개발	프랑스, 일본	유럽, 독일	80%
C-12	압전재 기술을 활용한 차륜-레일 인터페이스 측정 및 제작 기술	유럽	미국, 일본	78%
C-13	차량 진단 데이터의 대용량 전송 및 영상화 이미지 처리 기술	일본, 영국, 독일, 미국, 유럽	-	71%
C-14	기존유지보수체계와 자가진단을 통한 유지보수 활동의 통합화 기술	일본, 유럽	독일	70%
C-15	차륜/제동디스크 손상상태(전자기 기술) 센싱 자동화 및 장치 기술개발	일본	유럽, 미국	77%
C-16	차지상센싱 데이터를 이용한 차량 종합 진단시스템 구축 기술	독일, 프랑스	유럽, 일본	75%

(5) 기술획득 선호 방식

- 총 7명의 전문가 중 평균 3.9명이 ‘민간정부협력’ 을 선택함으로써, 민간과 정부의 공동 노력을 통한 기술연구의 필요성이 가장 높은 것으로 분석

(6) 장애요인 현황(중복선택)

- 산업화가 어려운 측면이 가장 큰 장애요인으로 조사됨에 따라, 기술의 제품화·모듈화 등 활용이 쉬운 형태의 제품 개발이 필요한 것으로 분석
- ‘기술적 한계’, ‘연구비(인프라부족)’ 등 요인도 큰 장애요소로 분석



* 현장 협조 미흡, 현장 데이터 제공 및 공유 필요 등

[그림 2.117] 능동유지보수기술 분야의 장애요인 현황

3. 우선순위조사

가. 조사 개요

(1) 목적

- 본 연구과제에 부합하는 과제의 기획 및 발굴을 위해 전략성과 기술성, 경제성과 파급성 등을 감안하여 우선적으로 연구·개발 되어야 할 기획과제 선정

(2) 평가지표

- 우선순위 도출을 위해 본 연구과제의 특성을 감안하여 전략성, 기술성, 경제성, 파급성 등 4대 항목으로 평가지표 구성
 - 4대 평가항목에 대해 각각 2개의 세부 평가지표로 구성

[표 2.32] 우선순위조사 평가지표 항목

평가항목	평가지표	소항목 개념
전략성	전략과의 부합성	정부의 중장기 R&D 전략 및 본 기획과제 추진전략에 부합되는 정도
	전략적 시급성	사회적, 정책적, 기술적 변화에 의해 해당 기술의 수요가 증가할 것으로 예상됨에 따른 해당 기술 개발의 시간적 시급 정도
기술성	기술 실현성	현재 기술수준, 연구개발역량 등을 고려할 때 해당 기술의 실현 가능성
	기술 우위성	해당 기술의 독창성 및 연구분야에의 기여 수준
경제성	사업화 가능성	해당 기술이 개발된 후 실제 철도에 도입되는 사업화 가능 정도
	수익성	해당 기술의 개발투자비 대비 기술로 인한 수익 창출 정도
파급성	과학기술적 파급성	과학적 혁신이나 새로운 지식의 창출 측면에서의 기여도
	사회공공적 파급성	사회문제 해결 및 공익 측면에서의 기여도

(3) 조사 방법 및 절차

- 최종 확정된 후보과제에 대한 평가를 통해 후보과제별 우선순위 조사
 - (1단계) 평가지표에 대한 가중치 선정을 위해 AHP 기법을 적용
 - AHP : 정확한 결과 도출을 위해 과제별 우선순위 결과에 쌍대비교를 통한 가중치를 적용하는 기법
 - (2단계) 후보과제에 대한 평가지표 항목에 대한 7점 척도 평가 수행
 - 7점 척도 기준 : 매우 크다(7점), 크다(6점), 다소 크다(5점), 보통(4점), 다소 작다(3점), 작다(2점), 매우 작다(1점)

- (3단계) 2단계 후보과제 평가 결과에 평가지표 가중치를 반영하여 7점 만점으로 환산
- (4단계) 평가결과 7점 만점 중 5.5점 이상인 과제를 최종 연구과제로 선정

(4) 조사 대상 과제 목록

- 기술수요조사 및 기술예측조사를 통해 도출된 총 16개의 능동유지보수기술 분야 후보과제에 대한 우선순위 조사를 수행

[표 2.33] 능동유지보수기술 분야 우선순위 조사 과제 리스트

과제번호	후보과제명
C-01	육상장치 이상상태 센싱 기술 개발
C-02	대차장치 이상상태 센싱 기술 개발
C-03	이동식 자동검측장비 기술 개발
C-04	출차시 차량(측면,하부) 이상 상태 기술 개발
C-05	차상 이상상태 지능형센싱(TCMS+) 기술 개발
C-06	주요 부품 열화모델 및 복합진단 기술 개발
C-07	자동센싱 적용 하이브리드 유지보수체계 개편(안) 도출
C-08	능동대응 유지보수 기술 및 지원 시스템 개발
C-09	신뢰성이 확보된 계측장비 시스템 개발
C-10	가상시뮬레이션을 이용한 세부고장 진단 및 조치방법 현시 기술
C-11	추진제어용 전력변환장치 자가진단기반 유지보수기술 개발
C-12	압전재 기술을 활용한 차륜-레일 인터페이스 측정 및 제작 기술
C-13	차량 진단 데이터의 대용량 전송 및 영상화 이미지 처리 기술
C-14	기존유지보수체계와 자가진단을 통한 유지보수 활동의 통합화 기술
C-15	차륜/제동디스크 손상상태(전자기 기술) 센싱 자동화 및 장치 기술 개발
C-16	차지상센싱 데이터를 이용한 차량 종합 진단시스템 구축 기술

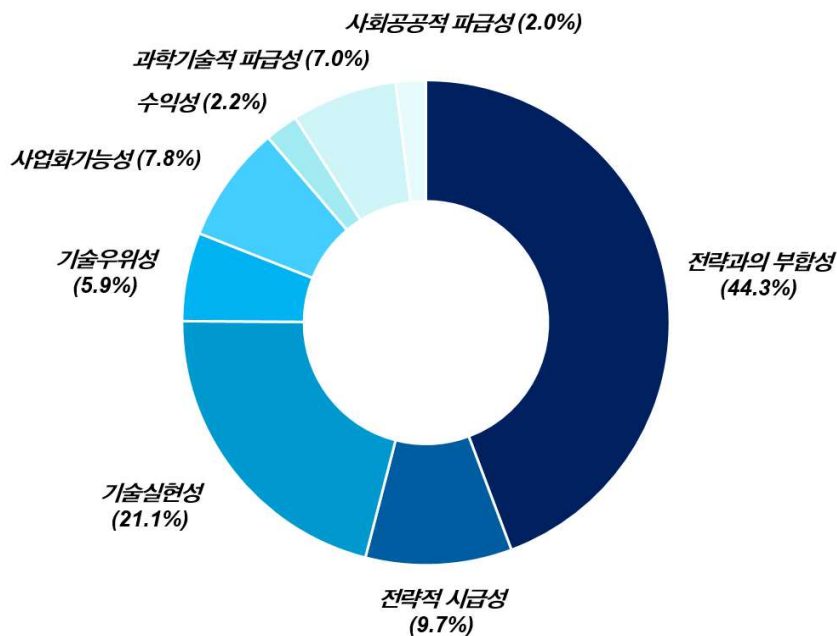
나. 조사 결과

(1) 평가지표 가중치

- 우선순위 평가기준 가중치 중 전략성이 54.0%로 가장 높은 것으로 조사됨
 - 전략성 이외에 기술성(27.0%), 경제성(10.0%), 파급성(9.0%) 순으로 도출
- 세부 평가지표 중에서는 전략과의 부합성이 44.3%로 매우 중요한 것으로 조사됨
 - 전략과의 부합성 외 세부 평가지표 중에서는 기술 실현성(21.1%), 전략적 시급성(9.7%), 사업화 가능성(7.8%)의 순으로 중요한 것으로 조사됨
- 본 과제의 특성상 중장기적 관점에서 철도 분야의 경쟁력 확보를 위한 전략 및 기술 차원의 접근이 보다 중요한 것으로 분석

[표 2.34] 우선순위조사 평가지표 항목

평가항목	전략성		기술성		경제성		파급성		합계
	전략과의 부합성	전략적 시급성	기술 실현성	기술 우위성	사업화 가능성	수익성	과학기술적 파급성	사회공공적 파급성	
가중치	44.3%	9.7%	21.1%	5.9%	7.8%	2.2%	7.0%	2.0%	100%
소계	54.0%		27.0%		10.0%		9.0%		100%



[그림 2.118] 능동유지보수기술 분야의 우선순위 평가기준 가중치

(2) 우선순위 조사 결과

- 능동유지보수기술 분야 16개 후보과제에 대한 평가지표별 절대평가(7점 척도) 점수에 평가지표별 가중치(AHP)를 반영하여 다음과 같이 최종 평가점수 및 순위를 도출

[표 2.35] 능동유지보수기술 분야 우선순위 조사 결과

평가 지표 과제 번호	전략성		기술성		경제성		파급성		결과	
	전략과의 부합성	전략적 시급성	기술 실현성	기술 우위성	사업화 가능성	수익성	과학기술적 파급성	사회공공적 파급성	합계	순위
C-01	2.4	0.5	1.4	0.3	0.5	0.1	0.3	0.1	5.6	6
C-02	2.6	0.5	1.3	0.3	0.5	0.1	0.4	0.1	5.8	2
C-03	2.5	0.6	1.1	0.3	0.5	0.1	0.4	0.1	5.6	7
C-04	2.3	0.6	1.3	0.3	0.5	0.1	0.4	0.1	5.5	8
C-05	2.6	0.5	1.2	0.4	0.5	0.1	0.4	0.1	5.8	3
C-06	2.6	0.5	1.1	0.3	0.4	0.1	0.4	0.1	5.7	5
C-07	2.7	0.6	1.2	0.3	0.5	0.1	0.4	0.1	5.9	1
C-08	2.7	0.5	1.1	0.3	0.4	0.1	0.4	0.1	5.8	4
C-09	2.0	0.4	1.1	0.3	0.4	0.1	0.3	0.1	4.7	16
C-10	2.4	0.5	1.1	0.3	0.4	0.1	0.4	0.1	5.3	10
C-11	2.4	0.5	1.0	0.3	0.4	0.1	0.4	0.1	5.2	13
C-12	2.0	0.5	1.0	0.3	0.4	0.1	0.4	0.1	4.8	15
C-13	2.3	0.5	1.1	0.3	0.4	0.1	0.3	0.1	5.2	12
C-14	2.5	0.5	1.1	0.3	0.4	0.1	0.4	0.1	5.4	9
C-15	2.2	0.5	1.0	0.3	0.4	0.1	0.4	0.1	4.9	14
C-16	2.3	0.5	1.1	0.3	0.4	0.1	0.4	0.1	5.3	11

○ 평가결과 5.5점 이상인 8개 후보과제를 최종 연구과제로 선정

[표 2.36] 능동유지보수기술 분야 최종 연구 과제

순위	과제번호	후보과제명	과제 내용
1	C-07	자동센싱 적용 하이브리드 유지보수체계 개편(안)도출	• 자동센싱 기술 적용에 의한 유지보수체계 및 시뮬레이션 S/W 기술 개발
2	C-02	대차장치 이상상태 센싱기술 개발	• 외관, 축상, 제동, 차륜, 연결부 등의 대차장치에 대한 이상상태를 판단하는 기술 개발
3	C-05	차상 이상상태 지능형센싱(TCMS+) 기술 개발	• 축적된 TCM데이터를 활용하여 도어, 제동, 견인전동기, 축상을 자가진단 하는 기술 개발
4	C-08	능동대응 유지보수 기술 및 지원 시스템 개발	• 검증된 빅데이터 기반 차량 열화 상태 가시화 및 지원시스템 기술 개발
5	C-06	주요 부품 열화모델 및 복합진단 기술 개발	• 축상, 제동, 차륜, 연결부의 손상모드에 따른 열화모델 정립과 각 물리량을 종합하여 복합 진단하는 기술 개발
6	C-01	육상장치 이상상태 센싱 기술개발	• 머신러닝알고리즘과 3D비전 기술을 적용한 육상장치 상태판단 기술 개발
7	C-03	이동식 자동검측장비 기술 개발	• 기지 피트내에서 차륜의 내외부 손상을 자동으로 검측하는 기술 개발
8	C-04	출차시 차량(측면,하부) 이상 상태 기술 개발	• 차량 검수완료 후 출차시 측면과 하부의 이상여부(연결부, 밸브, 볼트 등)를 판단하는 기술 개발

5절 유사과제분석 및 기존기술(연구)와의 차별성

1. 유사과제 분석

- 철도에서 유지보수에 대한 중요성은 일찍이 잘 알려져 있는 분야로 유지보수체계의 표준화, 모니터링 기술개발, 상태기반유지보수, 차륜/레일 피로손상 등의 연구는 여러 연구기관에서 다양한 방향 및 접근방법으로 수행되어 오고 있음
- 그러나 지금까지의 연구는 기초 및 초기 응용단계의 연구로 실제 일선 유지보수 현장에서 사용하는 것에는 한계가 있으며, 요소기술개발 위주의 연구로 수행되어 왔기 때문에 유지보수 프로세스 개선을 통하여 현행 유지보수시간을 단축하고자 하는 것과는 차별성이 있음
- 모니터링 기술, 상태기반 유지보수, 유지보수체계 등에 대한 연구내용은 본 기획에서 제시하고 있는 지능형 센싱, 이동식 자동검측, 자가진단 및 능동유지보수기술과도 연계가 가능하므로 기존에 개발된 기술의 고도화를 통해 지능형 자가진단기반 능동유지보수 기술의 완성도를 높일 수 있을 것으로 판단됨

구분	선행과제명 (연구연도)	연구자	연구목적	연구방법	주요 연구내용	선행과제와의 차별성		
						연구목적	연구방법	연구내용
1	도시철도 유지보수체계 표준화 및 정보화 연구 (2001-2006)	박기준 (철도연)	유지보수 표준화 정보체계 구축 유지보수체계 정보화 시스템 개발 차량분야 정화 시스템 서울시 지하철공사 시범 구축 및 운영 등	정보화 시스템 개발	유지보수 정보체계 표준화 방안수립 차량분야 정보화 시스템 개발 시설물분야 정보화 시스템 개발 등	검수시간 단축을 위한 센싱 기술 개발	하드웨어 개발 및 소프트웨어 개발	표준화된 정보체계를 바탕으로 유지보수 활용(연계가능)
2	철도시스템 건전성 모니터링 기초연구 (2009-2011)	김정국 (철도연)	안전 확보 및 유지보수비용 절감을 위한 건전성 모니터링 기술 개발	하드웨어 및 소프트웨어 개발	적외선 열화상기술을 이용한 철도차량 건전성평가기술 개발 무전원 SAW센서를 이용한 철도차량 이상상태 실시간 모니터링 기술개발 Opto-Laser 터널 스캐닝 시스템 핵심기술 개발 광섬유 센서를 이용한 철도구조 모니터링 기술개발	대상과제는 원천 기술 개발이 목적이었으며, 본 과제는 실제 정비지역에서 실용적으로 사용할 수 있는 기술 개발	하드웨어 개발 및 소프트웨어 개발	실제 차륜 및 제륜자등의 검수를 자동화하기 위한 목표를 가지고 연구수행

구분	선행과제명 (연구연도)	연구자	연구목적	연구방법	주요 연구내용	선행과제와의 차별성		
						연구목적	연구방법	연구내용
3	철도차량 검수고 자동 검사장치 고도화 (2011-2014)	오상운 (에코마이스터)	일상검사장치의 성능과 활용능력을 상승하기 위하여 기존 장비의 문제점을 해소하고 신기술 및 응용기술을 도입하여 향상된 자동측정 기술 제공	장치 개발 및 테스트베드 구축을 통한 신뢰성 향상	판타그래프 검사장치 옥상기기 검사장치 차륜찰상 검사장치 차륜형상 검사장치 제륜자 마모 검사장치 디스크라이닝마모 검사장치 측정 및 분석시스템	장비개발 뿐만 아니라 차량 지상 모니터링 및 유지보수체계 개편을 통한 자동화 기술 적용 방안 마련	장치 및 해석 모델, 시스템 소프트웨어 개발	고도의 검측기술을 적용하여 장비의 신뢰도 향상
4	철도차량 하부 핵심부품 무분해 비파괴 진단기술 구축 및 검증기술 개발 (2012-2013)	권석진	무분해 비파괴 진단 기술 개발을 통해 차량의 이상유무를 사전에 검지하고 대형사고를 예방하는 시스템 구축	차량기지 입고시 차량 하부 핵심부품(전동기, 감속기, 차륜)을 무분해 비파괴 진단하는 기술 및 장비 개발	적외선 열화상기술을 이용한 하부 부품 이상 검사 시스템 구축 음향홀로그래피를 이용한 하부 부품 이상 상태평가 시스템 및 DB구축 분포형 광섬유센서를 이용한 철도 차량 중량 불균형 평가시스템 구축 전자기 카메라에 의한 철도차륜 표면 결함 검사 시스템 구축	비파괴 진단을 수행하는 관점에서 유사하나 유지보수 시간 단축을 위한 목적 및 대상 장치 서로 차별성이 있음	유지보수 자동화를 위한 하드웨어 장비 개발	차륜, 제륜자, 차량 외관 등 유지보수 수행
5	상태기반 스마트 유지보수 핵심기술 개발 (2013-2017)	이관섭	도시철도 차량 상태기반 유지보수체계 방향 수립 유지보수 전문가 시스템 개념 설계 예비품 등 유지보수자원에 대한 소요량 산출 시스템 개념 설계	CBM 체계 구축 및 주요장치 CMB 모델 개발	상태기반 유지보수 체계 실행방안 연구 빅데이터 기반 유지보수전문가시스템 개발 동력전달계통 주요장치 CBM 모델 연구	CBM을 실제 적용하기 위한 센싱 시스템 및 진단 모델 개발	하드웨어 장비개발	구체적으로 정비에 소요되는 유지보수 시간을 단축하기 위한 기술개발
6	기존 안전검지장치 및 현장 운영데이터 기반 실시간 철도안전 통합 감시제어시스템	김상암	첨단 IT와 네트워크 기술을 적용하여, 철도 관제 시스템을 중심으로 철도 차량, 철도역사 및 시설 등에	철도안전관리 고도화를 위한 ICT 기반 철도 안전관제 플랫폼 개발 및 테스트베드 구축	실시간 철도 안전관제 시스템 개발 실시간 철도안전 의사결정 지원시스템 개발 기존 안전검지장치	대상과제는 철도 안전을 목적으로 과제수행한 것이나 본과	안전관련 체계 구축에 안점을 두고 있으나 본과	유지보수와 연계가 가능하므로 개발결과를 상호

구분	선행과제명 (연구연도)	연구자	연구목적	연구방법	주요 연구내용	선행과제와의 차별성		
						연구목적	연구방법	연구내용
	템 개발 (2014-2019)		대한 안전관련 정보를 실시간으로 감시(모니터링)하고 사고 위험을 조기 예측/진단하여 제어할 수 있는 실시간 철도안전 통합 감시/제어시스템 개발	세계 일류 철도 안전 국제경쟁력 확보를 위한 사고위험예측 기술 개발 철도사고 제로화 및 유지보수비용 절감을 위한 철도안전 의사결정 지원시스템 개발	성능개선 및 고도화 개발 실시간 철도안전 통합 감시/제어시스템 현장 적용 및 검증	제는 유지보수의 관점에서 차별화됨	유지보수를 위한 장비개발로 차이가 있음	활용할 수 있을 것으로 판단됨
7	차륜/레일 구름접촉손상 예측모델 및 저감 기술개발 (2015-2017)	전현규	고속화, 축중 증가에 대비한 차륜/레일 구름접촉 손상저감 핵심기술개발	차륜과 레일의 구름접촉에 의해 발생하는 피로손상 및 마모손상에 대한 해석적 실험적 연구	구름접촉 손상발생 및 진전메카니즘 이해를 통한 최적 유지보수기술 개발 차륜/레일 접촉표면 경도관리 유지보수 방안 및 표면처리 기술 개발 고속철도 차륜 열응력 저감을 위한 형상 최적화 기술 개발 경제적 차륜담면 손상관리를 위한 열피로 관리기술 개발	선행연구는 원천 기술개발이 목적이거나 당해연구의 이행을 위한 현장 유지보수에 적용하기 위한 목적을 가짐	차륜에 발생하는 손상의 측정 및 진전예측	차륜 이외에도 제륜자, 디스크 등 다양한 장치의 자동검측기술

2. 유사과제 연계성

- 앞서 수행된 연구과제에서 개발된 기술의 고도화를 통해 전체 시스템을 개발하기 위한 비용절감 및 개발시간 단축을 꾀할 수 있음

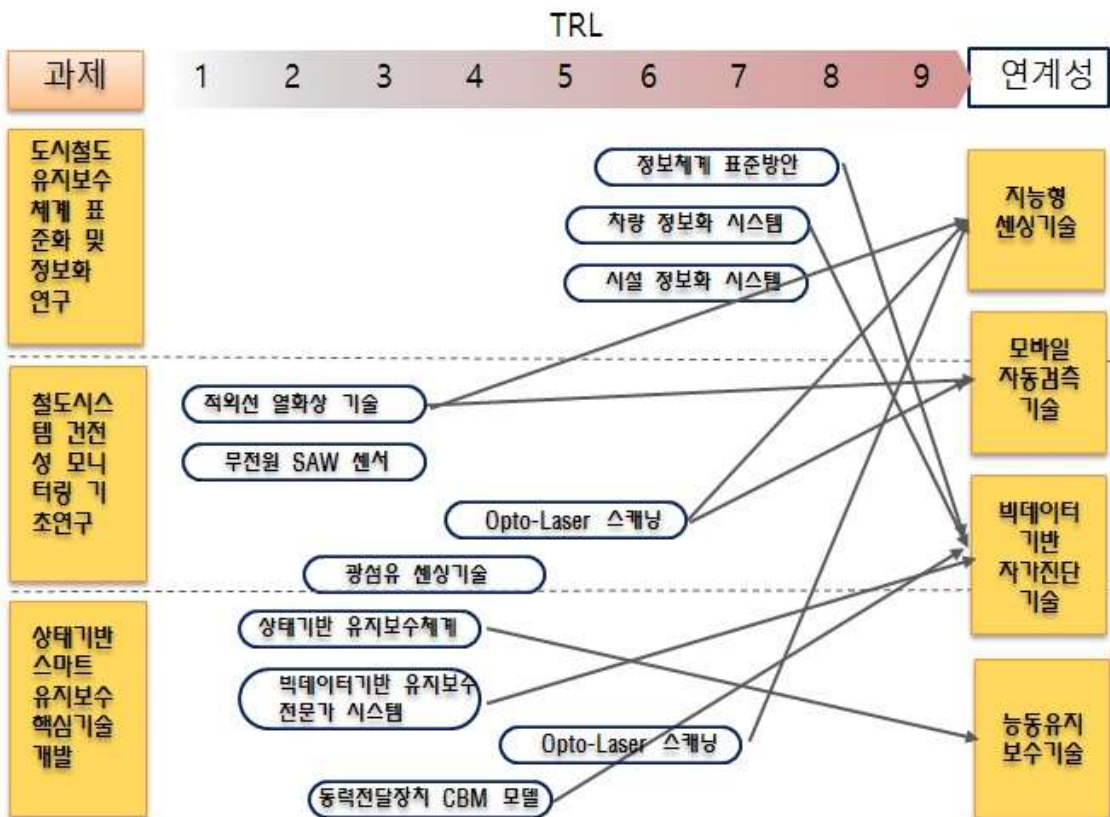
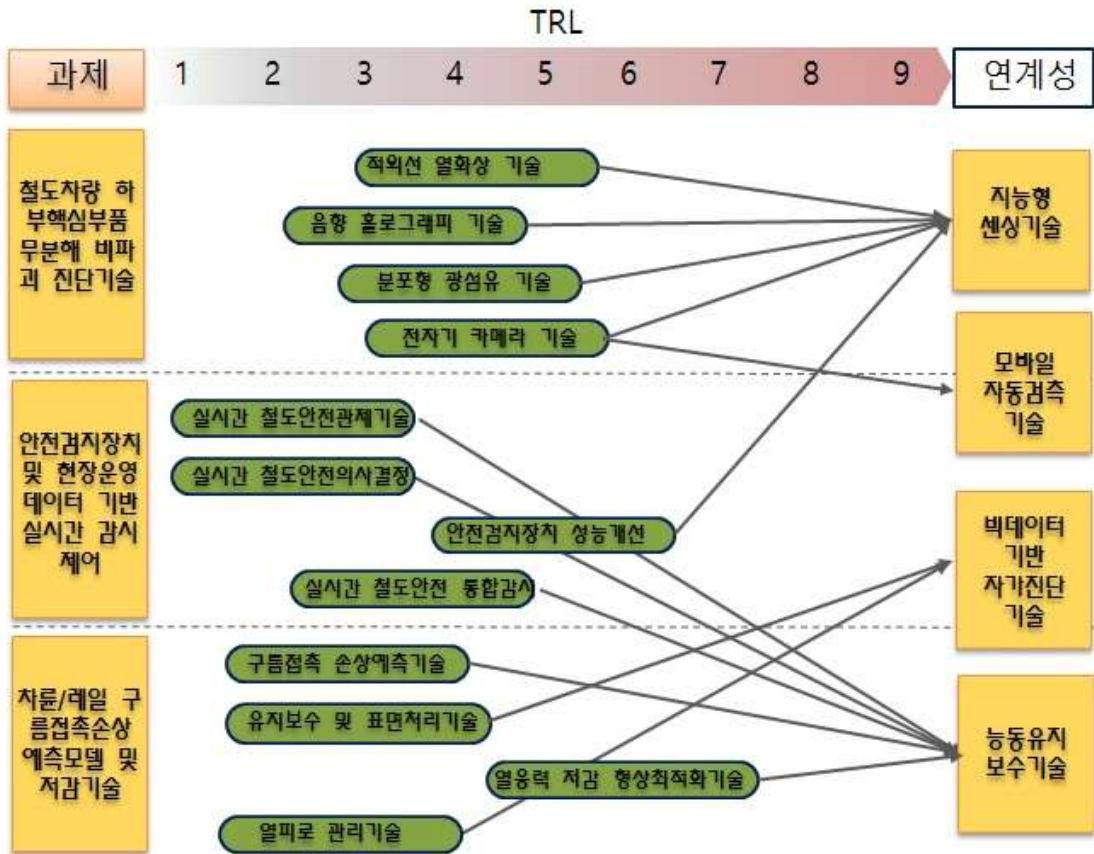
구분	선행과제명 (연구연도)	주요 연구결과	연구결과 연계	연계방법
1	도시철도 유지보수체계 표준화 및 정보화 연구 (2001-2006)	유지보수 정보체계표준화 방안 수립	정보체계 표준화 방법 연계	고도화
		차량분야 정보화 시스템 개발	정보화 시스템 벤치마킹 및 고도화	시스템 연계
		시설물분야 정보화 시스템 개발 등	시설물은 본 기획대상이 아님	-
2	철도시스템 건전성 모니터링 기초연구	적외선 열화상기술을 이용한 철도차량 건전성평가기술 개발	열화상 분석기술 연계를 통한 지상 검지장치 고도화	고도화

구 분	선행과제명 (연구연도)	주요 연구결과	연구결과 연계	연계방법
	(2009-2011)	무전원 SAW센서를 이용한 철도차량 이상상태 실시간 모니터링 기술개발	무전원 SAW 센서의 경우 아직까지 실용성이 낮으므로 당해과제에서는 적용하지 않음	-
		Opto-Laser 터널 스캐닝 시스템 핵심기술 개발	Laser scanner 고유기술을 철도차량 치수측정에 활용	고도화 및 이동식 자동 검측장치에 탑재
		광섬유 센서를 이용한 철도 구조 모니터링 기술개발	내구성 향상을 위한 추가적 연구수행을 통해 찰상 등 탐지에 활용	고도화
3	철도차량 검수고 자동 검사장치 고도화 (2011-2014)	판타그래프 검사장치	Laser 조사 등을 통한 CCD 기반 영상처리 기술 한계 극복	신기술 적용 및 고도화
		육상기기 검사장치	열화상 분석기술의 고도화를 통한 육상기기 검지장치 고도화	고도화 자동영상인식기술 적용
		차륜찰상 검사장치	차륜균열탐상장치와 연계	기능 적용
		차륜형상 검사장치	차륜균열탐상장치와 연계	
		제륜자 마모 검사장치	대차이상상태 검사장치와 연계	기능적용
		디스크라이닝마모 검사장치	대차이상상태 검사장치와 연계	
		측정 및 분석시스템	능동유지보수 지원시스템과 연계를 통한 분석기술 고도화	고도화
4	철도차량 하부 핵심부품 무분해 비파괴 진단기술 구축 및 검증기술 개발 (2012-2013)	적외선 열화상기술을 이용한 하부 부품 이상 검사 시스템 구축	열화상 인식기술을 기반으로 비전기술 등에 활용	고도화 및 유사기술에 활용
		음향홀로그래피를 이용한 하부 부품 이상 상태평가 시스템 및 DB구축	일상 월상 검수에 직접적으로 연계되어 있지 않으므로 활용하지 않음	-
		분포형 광섬유센서를 이용한 철도 차량 중량 불균형 평가 시스템 구축	내구성 향상을 위한 추가적 연구수행을 통해 찰상 등 탐지에 활용	고도화
		전자기 카메라에 의한 철도차륜 표면 결함 검사 시스템 구축	이동식 자동검측장치 탑재할 수 있도록 시스템 개발	모발일 측정장치와 연계
5	상태기반 스마트 유지보수 핵심기술 개발 (2013-2017)	상태기반 유지보수체계 실행 방안 연구	상태기반 유지보수 시스템 구축을 위해 유지보수체계 시스템 구축	S/W 개발 및 시스템화
		빅데이터 기반 유지보수전문 가시스템 개발	빅데이터 기술을 기반으로 하여 이상 탐지하는 기술 개발	시스템 고도화
		동력전달계통 주요장치 CBM 모델 연구	CBM 모델 연계를 통한 주요장치의 유지보수 체계 재정립	시스템 개발 및 유지보수 체계 재정립
6	기존 안전검지장치 및 현장 운영데이터 기반 실시간 철도안전 통합 감시제어시스템 개발 (2014-2019)	실시간 철도 안전관제 시스템 개발	유지보수 효율성 및 아니라 안전성 확보 측면에서 검토	고도화
		실시간 철도안전 의사결정 지원시스템 개발	의사결정지원 시스템의 요소기술을 기반으로 한 유지보수 최적화 달성	고도화
		기존 안전검지장치 성능개선 및 고도화 개발	기존 안전검지 장치와 유지보수 장치 연계	고도화 및 유지보수장치와 연계
		실시간 철도안전 통합 감시/제어시스템 현장적용 및 검증	유지보수 관점과 연계	활용

구 분	선행과제명 (연구연도)	주요 연구결과	연구결과 연계	연계방법
7	차륜/레일 구름접촉손상 예측모델 및 저감 기술개발 (2015-2017)	구름접촉 손상발생 및 진전 메카니즘 이해를 통한 최적 유지보수기술 개발	차륜 및 레일의 열화모델을 기반으로 한 손상예측	활용
		차륜/레일 접촉표면 경도관 리 유지보수 방안 및 표면처 리 기술 개발	최적의 유지보수 달성을 위해 관련기 술을 기반으로 실용기술 확보	고도화
		고속철도 차륜 열응력 저감을 위한 형상 최적화 기술개발	이동식 자동검측장치와 연계를 통해 차륜 답면의 열손상 검측	기술활용 및 고도화
		경제적 차륜답면 손상관리를 위한 열피로 관리기술 개발	열피로 관리기술 기반하여 손상유지 보수체계 고도화	활용

3. 기술확보전략

구 분	목표달성 기술	필요기술	도입기술	기술개발
1	육상장치 이상상 태 센싱기술 개발	비전센서/열화상센서	구매	×
		머신비전센싱(신호처리기술) 기술	기 개발 센싱기술 도입, 업그레이드	육상장치 센싱 및 신호처리 기술 개발
		육상장치 물체형상 인식 및 분석 기술	기 개발 인식기술 도입, 업그레이드	육상장치 물체형상 인식 및 분석 기술개발
		IoT기술	구매/도입	×
		AI/머신비전 기술	기 개발 기술 도입	×
		육상장치 인식 데이터마이닝 최적화 기술	기 개발 기술 도입, 업그레이드	데이터 마이닝 및 데이터분석, 최적화 기술개발
2	차상주요장치 자 가진단 시스템	물리량 측정센서	구매	×
		IoT 스마트 센서	구매, 업그레이드	차상 이상상태 진단 물리량 측정 IoT 센싱 기술
		IoT 서비스 인터페이스 기술	도입 및 업그레이드	차상 이상상태 IoT 서비스 인터 페이스 기술개발
		데이터 분석기술	도입	×
		이상상태 기준설정 및 자가 진단 기술	도입 및 업그레이드	차상상태 진단을 위한 TCMS연동 지능형 센싱 기술개발



[그림 2.119] 선행과제와의 연계방안

6절 국내 연구개발 인프라 분석

1. 기술개발 SWOT 분석

(1) 철도차량 자동센싱 기술개발 분야

- 자동센싱을 기반으로 한 철도차량 능동형 유지보수를 위하여 자동센싱 기술에 대한 SWOT 분석을 통한 전략방향을 설정
- 국내 자동센싱기술은 국외의 수입에 의존하던 상태에서 점차 국산화의 필요성을 인식하여 현재에는 국내 자체 개발 진행 중이나, 적용하고 있는 센싱기술의 한계로 인하여 아직까지 완전히 정착된 단계는 아님
- 현재 국내에서 운영 중인 자동센싱기술에 사용되는 기술은 단순 카메라 비전기술에 의존하고 있으며, 비전기술의 기술적 한계로 인하여 기술의 발전이 더디게 이루어지고 있음

[표 2.37] 철도차량 자동센싱 기술에 대한 SWOT 분석

SWOT분석을 통한 전략방향 도출	O(기회)	T(위협)
	<ul style="list-style-type: none"> · 자동센싱 기술개발에 대한 필요성 인식 · 철도 고속화에 따른 보다 정확한 정보 및 실시간 모니터링에 대한 수요증대 · 국제기준의 철도차량유지보수 시스템 도입과 글로벌 기술개발 · 선진화된 기술력(부품) 접목에 따른 안정성 확보에 대한 수요증대 	<ul style="list-style-type: none"> · 국외 기술의 선점으로 인하여 국내기술이 설 자리를 잃고 있음 · 고객 니즈의 고급화, 복잡화 및 자동화 장비 및 기술에 대한 불신 · 시스템 정확성 안정성을 제고하기 위한 DB축적 및 진단 분석고도화 등으로 당초 기대했던 효과가 나타날 때까지 장기간 소요
S(강점)	SO(전략)	ST(전략)
<ul style="list-style-type: none"> · ICT 등 첨단분야 세계 탑 수준의 기술력 확보 · 풍부한 기술인력 및 정부지원을 바탕으로 단기간 기술적 know-how 축적 가능 	<ul style="list-style-type: none"> · 첨단 IT 기술과 접목하여 철도차량 기술개발 역량 확보 · 철도고속화의 지속적인 확대에 따른 신규시장 개척 및 경험확보를 통한 시장선점 	<ul style="list-style-type: none"> · 기존 장비에 대한 불신을 첨단 기술로 재무장하여 지속적 현장적용 유도 · LTE 기술 등의 지속적 활용을 통한 대용량 자료축적 및 처리 기술 개발
W(약점)	WO(전략)	WT(전략)
<ul style="list-style-type: none"> · 국내 기술에 대한 신뢰성 인식 부족 · 국외 기술의 벤치마킹 수준의 기술력 확보, 독자적 기술확보가 시급 · 민간주도로 인해 장비의 신뢰성 약화 	<ul style="list-style-type: none"> · 철도분야에 폐쇄되었던 기술을 융합을 통해 적극적으로 공개 공동 활용함으로써 전체적인 시너지 확보 · 국내 기술에 대한 인식이 지속적으로 제고되고 있으며, 수요처가 지속적으로 확대되고 있음 	<ul style="list-style-type: none"> · 국외 선점기술에 대한 기술적 의존도 및 해외 기술에 대한 사대사상 탈피 · 정부 주도의 사업으로 단기간에 기술력 향상 · 해외 진출사업과 함께 다양한 활용처를 찾기 위한 노력 수행

- 철도분야 이외의 물류 분야 등에서의 비전기술 활용은 점차 증가하고 있으며, 정밀도가 높은 기술의 도입이 필요함
- 철도차량 자동센싱 기술의 활용분야는 점차 확대되고 있으며, 4차 산업을 기반으로 한 첨단 센싱기술의 비약적인 발전으로 다가올 미래에는 자동센싱기술의 적용성이 대폭 확대될 것으로 전망됨
- 정부는 4차 산업에 대한 인식의 전환을 계기로 하여 다양한 지원책이 마련되고 있으며, 이와 함께 국내 기술도 비약적으로 발전될 것으로 전망됨
- 과거 국외 기술 의존적 인식이 바뀌면서 국내 기술에 대한 신뢰도가 점차 높아지고 있으며, 이에 따라 기술개발에 대한 기회가 점차 확대되고 있음

(2) 자가진단 및 능동유지보수기술개발 분야

[표 2.38] 자가진단 및 능동유지보수기술에 대한 SWOT 분석

SWOT분석을 통한 전략방향 도출	O(기회)	T(위협)
	<ul style="list-style-type: none"> · 상태기반유지보수의 인식 및 적용을 위해 다양한 시도가 이루어지고 있음 · 자동화 장비의 도입 등을 통하여 능동유지보수기술에 대한 관심이 높아짐 	<ul style="list-style-type: none"> · 국외에서는 오래전부터 모델개발 등 기술축적을 하고 있음 · 자가진단 및 능동유지보수 기술은 오랜 축적된 경험이 필요 · 승자독식체제에 따라 국외 기술에 선점당할 가능성이 있음
S(강점)	SO(전략)	ST(전략)
<ul style="list-style-type: none"> · 상태기반유지보수의 인식과 함께 관련기술에 대한 깊이 있는 이해노력 추진 · 국가주도의 예산투입을 통해 기술개발기간의 단축 	<ul style="list-style-type: none"> · 관련기술의 집중적 개발을 통해 기술의 개발속도를 향상 · 단기간 기술개발을 통해 시장 선점 	<ul style="list-style-type: none"> · 국내 기술의 공격적 적용 및 축적을 통해 기술 실용화 · 국외 기술의 한계를 극복하고 경험을 바탕으로 한 신 기술 개발
W(약점)	WO(전략)	WT(전략)
<ul style="list-style-type: none"> · 국외 모델링&시뮬레이션 기술에 비해 취약 · 해석을 위한 상용 S/W들이 국외에서 개발된 기술에 의존 	<ul style="list-style-type: none"> · M&S 기술개발에 대한 집중적 투자를 통해 관련기술 개발 · 국내 시험선 개발을 통해 관련기술개발 여건이 향상되고 있음 	<ul style="list-style-type: none"> · 국외기술과의 접목을 통해 기술개발속도를 향상 · 다양한 기술자료의 확보를 통해 개발기간 단축

- 철도차량 자가진단 기술개발에 대해서는 그동안 다양한 연구가 진행되어 왔으며, 철도 운영처에서도 상태기반유지보수 등에 대한 인식이 높아져 기술개발 및 현장적용에 대한 시도가 이루어진바 있으나, 여러 가지 이유로 아직까지 실용화 및 정착단계까지는 이르지 못함
- 주요장치에 대한 열화모델을 개발하기 위한 연구가 다양하게 진행되었으나, 열화모델 개발이 어려울 뿐만 아니라 예측의 정확성 향상을 위해 지속적인 모델개선이 필요함
- 자가진단을 위해서는 정상상태와 비정상상태에서의 데이터 학습을 위한 방대한 DB 구축이 필요하나, 아직까지 DB 구축에 대한 노력은 상대적으로 낮음
- 능동유지보수의 개념정립과 함께 주기적으로 반복되는 유지보수기간의 연장이 요구되고 있음

2. 연구진의 연구개발 역량

- 연구개발을 수행하기 위한 국내 관련기관의 전문 인력, 시험장비 및 해석 S/W 등 연구 기반시설 구축현황을 조사, 평가하고 선진국 대비 인프라 수준을 파악함

[표 2.39] 철도 모니터링/유지보수 관련 국내 전문인력 현황

연구분야	기관	대표 연구자	주요연구영역
철도 모니터링/ 진단/체계 관련	한국철도기술연구원	이관섭	유지보수 체계
		김재훈	모니터링 시스템
		김종운	신뢰성분석, 유지보수 분석
		전현규	손상해석, 수명평가
		서정원	손상해석, 수명평가
		권석진	비파괴진단, 손상해석
철도 유지보수 관련	한국철도공사	소진섭	철도차량기술, 유지보수
		김광모	유지보수
		정연일	유지보수
	서울메트로	정수영	철도차량기술, 유지보수
		김영규	철도시스템 유지관리
		박시영	유지보수
		양용준	유지보수
	서울도시철도공사	윤천주	철도차량기술
		황홍환	유지보수체계
		신건영	신뢰성분석, 유지보수
		이상승	유지보수
	모니터링/	한양대학교 산업공학과	배석주

연구분야	기관	대표 연구자	주요연구영역
진단 관련	서강대학교 기계공학과	정현용	진단 및 상태 예측 분석
	군산대학교 기계자동차공학부	강기원	신뢰성 및 고장분석
	서울대학교 기계항공우주공학부	윤병동	제동장치 CBM모델 개발
	서울과학기술대학교	최규형	견인전동기 CBM모델 개발
	서울과학기술대학교	구정서	차륜 CBM 모델 개발
	카이엠	정운찬	DB구축, S/W개발
	글로벌즈	임종순	차축베어링, 기어박스 CBM 모델 개발
	KAIST	여화수	빅데이터기반 유지보수 전문가시스템 개발
	KTME	박병수	감속기모니터링

3. 인프라 설비

[표 2.40] 연구기반시설 구축현황

장비명	보유기관	용도
대차동특성주행시험기	한국철도 기술연구원	- 주행안전성/동적특성 시험
고속레일/차륜 접촉시험기	한국철도 기술연구원	- 차륜/레일 점착, 피로, 마모 시험
구름접촉 슬립제어장치	한국철도 기술연구원	- 구름접촉피로 손상진전 메커니즘 시험 및 분석
X선 잔류응력측정 장치	한국철도 기술연구원	- 차륜/레일의 잔류응력 측정 평가
제동성능시험기	한국철도 기술연구원	- 제동장치 디스크/제륜자 특성 시험
드라이빙기어시험기	한국철도 기술연구원	- 감속구동장치 부하시험, 평가
팬터그래프시험기	한국철도 기술연구원	- 팬터그래프 압상력, 동작, 내구성 시험 등
피로시험기 (50ton)	한국철도 기술연구원	- 차량 부품 각종 제품의 내구성시험 : 레일, 용접레일, 침목, 콘크리트의 휨피로시험, 금속의 인장피로시험, 기타재료의 압축피로시험
UTM (300ton)	한국철도 기술연구원	- 금속재료의 인장 및 굽힘강도 시험 : 금속, 비철금속, 기타제품의 인장, 압축, 휨 시험

레일굴곡시험기 (300ton)	한국철도 기술연구원	- 용접레일의 굽힘강도 측정 : 레일, 용접레일, 침목, 강재의 굴곡시험
다자유도 가진진동대	한국철도 기술연구원	- 철도구조물 진동시험
ABAQUS	한국철도 기술연구원	- 범용 유한요소 해석 프로그램
LUSAS	한국철도 기술연구원	- 범용 유한요소 해석 프로그램
DART	한국철도 기술연구원	- 궤도 동적 해석 프로그램



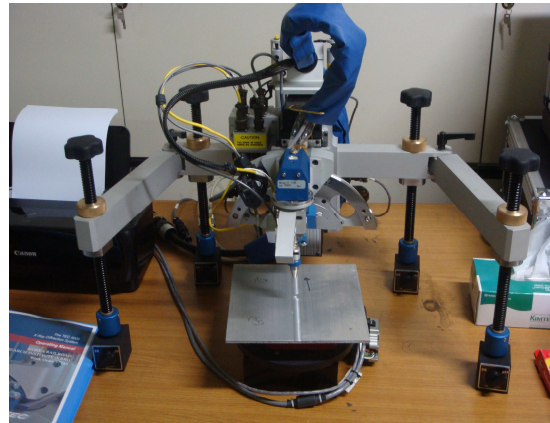
[제동성능시험기]



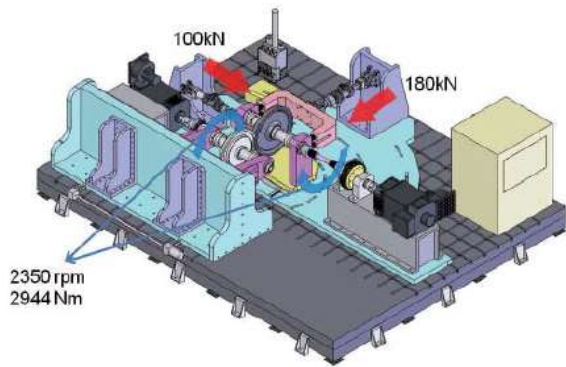
[드라이빙기어시험기]



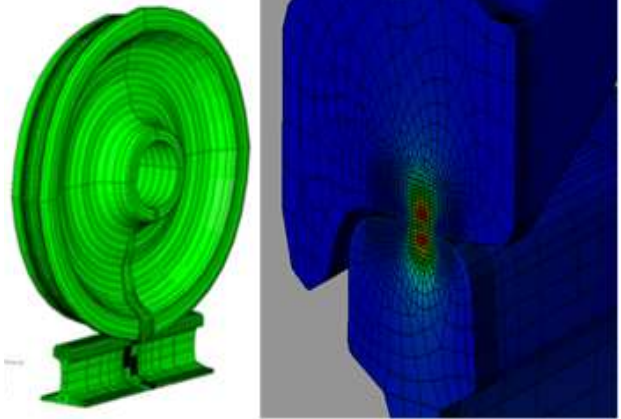
[슬립제어장치]



[X선 잔류응력측정 장치]



[고속 차륜-레일 접촉시험기]



[해석 S/W(CATIA, ABAQUS)]

[그림 2.120] 철도연구원에 보유한 S/W 및 시험장비

○ 철도 모니터링/유지보수 관련 인프라 수준 비교 및 시사점

- 철도 모니터링/유지보수 관련 인프라 현황을 선진국과 비교하면 전문인력, 연구기반시설, 산학연 공동연구 기반은 동등한 수준을 나타내며, 기술이전 및 국제기술협력 분야는 다소 부족한 상황임
- 철도 모니터링/유지보수 관련 기술 개발은 최근 운영처 및 철도 관련 연구기관에서 활발히 이루어지고 있으나, 발전하는 IT 기술을 접목한 유지보수 관련기술을 발전시키기 위하여 장기적인 계획과 꾸준한 연구개발이 추진될 필요 있음

[표 2.41] 철도 모니터링/유지보수 관련 인프라 수준 비교

기술분야	인프라 항목	선진국 대비 인프라 수준				
		부족	다소부족	동등	우월	보다우월
철도 모니터링/유 지보수 관련	전문인력 보유현황			○		
	연구기반시설 구축현황			○		
	산학연 공동연구기반			○		
	기술이전 및 거래		○			
	국제기술협력	○				
	관련 업체현황		○			

제3장 연구개발과제 구성 및 추진전략

1절 비전 및 목표설정

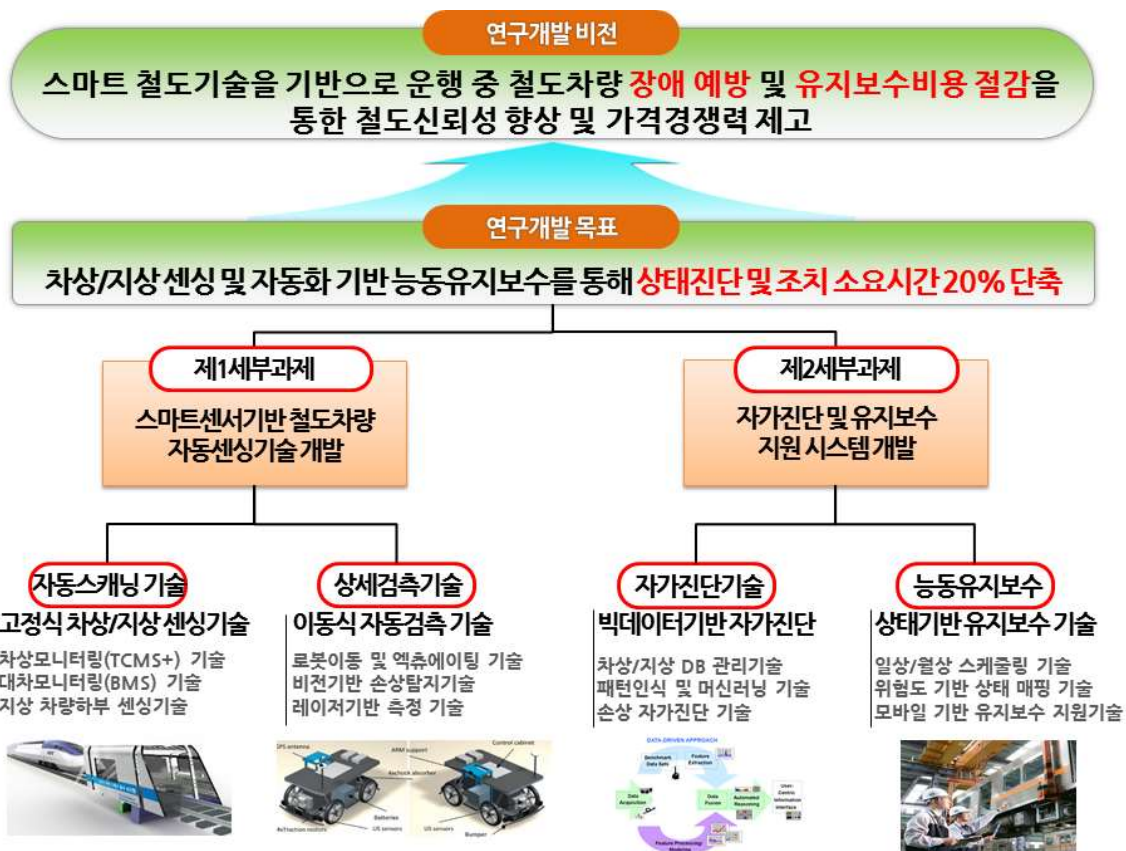
1. 비전 및 목표

□ 비전

- IoT, ICT 등 첨단기술을 활용한 스마트 철도기술을 기반으로 하여 차량의 상태를 스스로 진단하고 적기에 적절한 유지보수 조치를 취함으로써 철도차량의 장애를 예방하고 유지보수 비용의 절감을 통한 철도신뢰성 향상 및 가격경쟁력을 제고하고자 함

□ 목표

- 첨단 센싱장비를 이용하여 차상 및 지상에서 주요장치의 상태를 1차 센싱하고, 이상이 감지된 장치를 이동식 측정장치를 이용하여 2차 상세 센싱을 함으로써 정확한 상태정보를 획득하고, 장치열화모델을 기반으로 한 손상 및 고장 가능성을 판단하기 위하여 빅데이터 기반하여 자가진단을 수행하고 상태기반의 능동유지보수를 가능하게 하는 기술 개발 및 시스템을 구축하는 것을 목표로 함



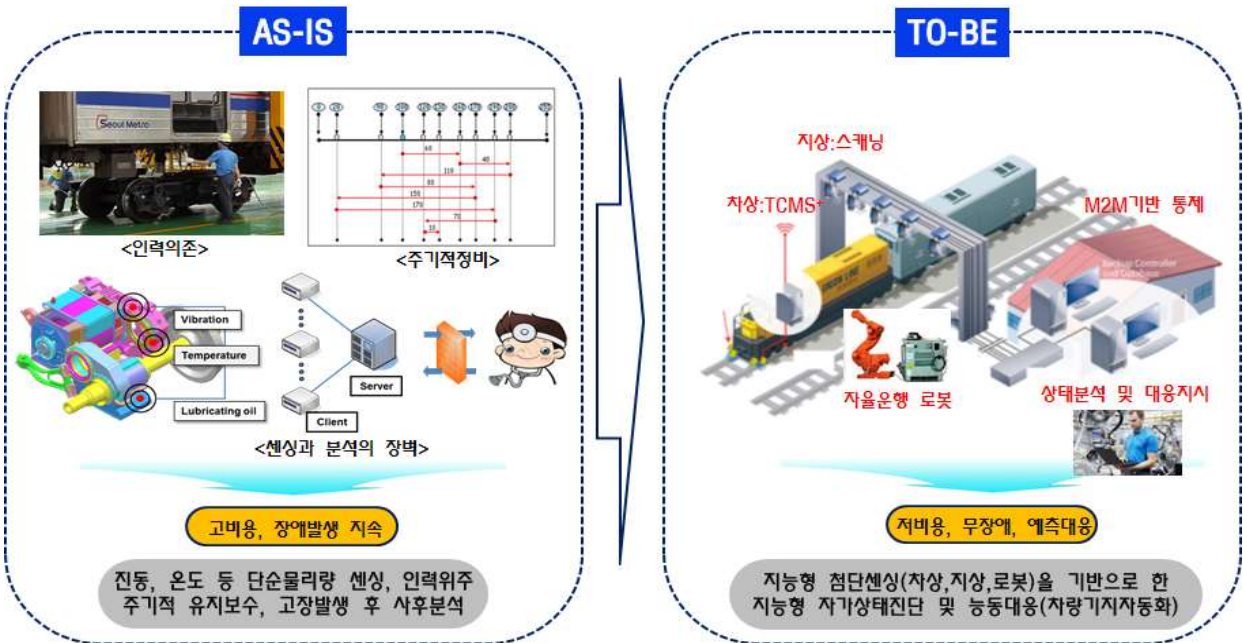
[그림 3.1] 비전 및 목표

2절 기술개발에 따른 미래상

1. 현황 및 미래상

가. 철도차량 자동센싱 기술개발 분야

- 현재 수작업에 의존하고 있는 철도차량의 도착, 일상, 월상검수 등 검수업무의 50%를 차지하고 있는 단순하고 반복적인 검수작업이 첨단 센싱을 기반으로 한 검수작업으로 점진적으로 대체될 것임
- 철도차량 자동센싱 기술개발에 의해 상태 기준(condition-based) 유지보수가 수행될 수 있으며, 검사 및 진단업무 자동화에 따라 철도차량 유지보수 시간을 줄이고, 비정량적 평가항목을 정량적으로 평가하여 유지보수 효율 및 품질을 높일 수 있을 것임

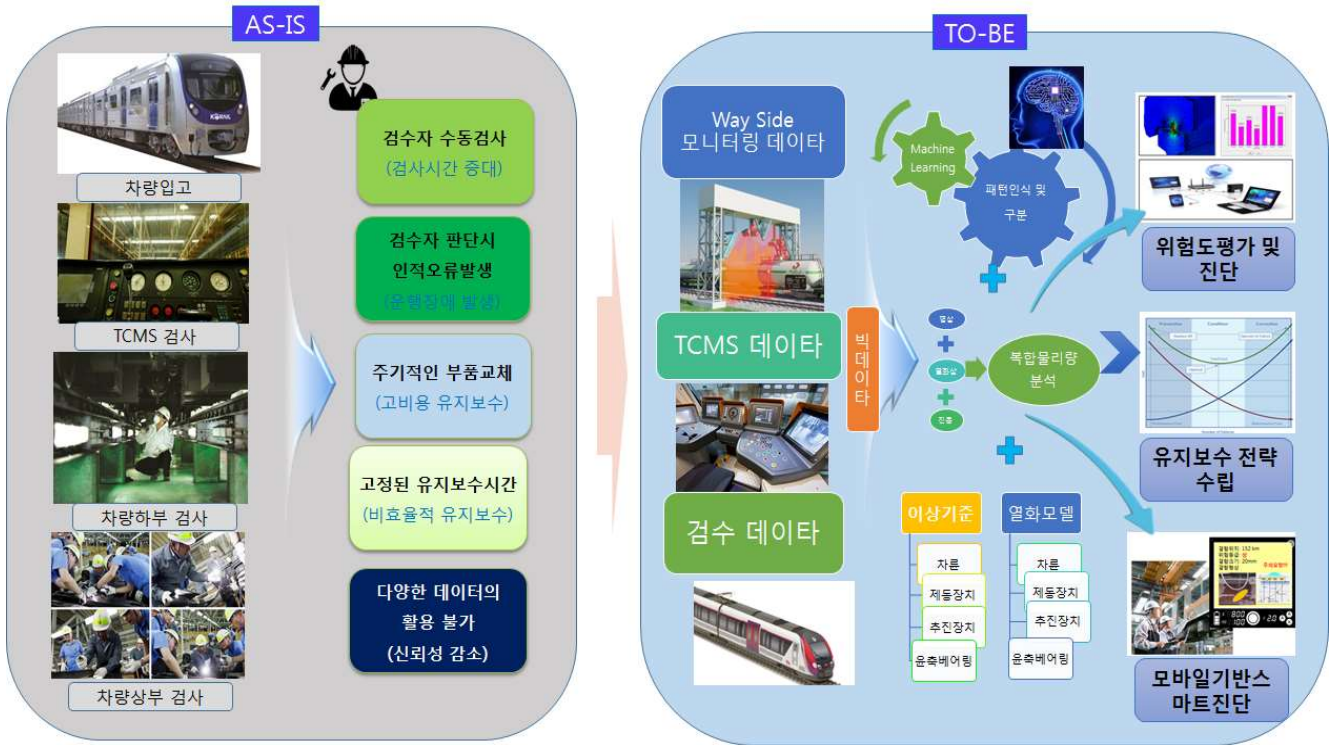


[그림 3.2] 지능형 센서기반 철도차량 자동센싱 기술의 미래상

As is	To be
<ul style="list-style-type: none"> ○ 수동검사에 의한 차량 진단으로 소요시간 증가 <ul style="list-style-type: none"> - 일상/월상 검사 대부분은 검사원이 수동으로 검사하여 자가진단. ○ 유지보수 인력의 노령화, 정비의 외주화 등에 따른 비숙련자에 의한 정비 가능성 증가 ○ 유지보수 전, 후 비정량적인 평가로 정비의 부실화 가능성 ○ 고정된 유지보수 스케줄에 따른 차량의 가용성 감소 ○ 모니터링 장치가 없거나 주요장치의 기초적인 모니터링으로 고장예방 및 고장원인분석에 한계가 있음 ○ 주요부품 상태 모니터링 데이터가 없어 유지보수 계획수립에 어려움 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 인공지능 기술을 이용한 진단시간 단축 <ul style="list-style-type: none"> - 머신러닝, 패턴인식 기술을 이용하여 상태진단 - 육안검사를 대체함으로써 진단시간 단축 ○ 차상, 지상 자동센싱 및 검측장비 기술개발을 통한 유지보수 검측 자동화 ○ 유지보수 전, 후 정량적인 평가로 정비의 품질향상 가능성 ○ 상태기반 유지보수 스케줄 조정에 따른 차량의 가용성 증가 ○ 주요부품 상태를 실시간으로 모니터링, 진단함으로써 이상유무를 사전에 인지하여 고장 발생 전 이상원인 파악 및 고장 예방 ○ 주요부품 상태 모니터링 데이터를 활용한 빅데이터 분석, 최적의 유지보수 계획 수립

나. 자가진단 및 능동유지보수기술개발 분야

- 수동검사에 의한 부품의 진단을 방대한 센싱 정보 및 인공지능기술을 기반으로 한 자가진단과 자동화 기술을 통하여 진단에 소요되는 평가시간을 단축하고, 진단의 정확성을 향상함
- 스마트 센서기반 철도차량 자동센싱 기술개발에 의해 차량 주요부품의 상태 모니터링 및 데이터 분석을 통한 예방 정비를 수행할 수 있으므로 차량의 가용성이 증대될 것임
- 복합 물리량 데이터 분석을 이용하여 고장진단의 정확성 향상을 통하여 사전경고기능을 강화하고 운행장애를 감소함
- 주요부품의 열화모델을 통한 손상진단 및 잔존수명 예측으로 최적의 교체주기를 통한 유지보수비용 감소
- 유지보수 스케줄링 최적화를 통하여 일상/월상 유지보수 효율화



[그림 3.3] 자가진단 및 능동유지보수 기술의 미래상

As is
<ul style="list-style-type: none"> ○ 모든 철도차량은 획일적으로 시간 기준 (time-based) 유지보수 수행 ○ 하나의 물리량으로 고장을 판단하므로 오류가 발생 <ul style="list-style-type: none"> - 온도측정으로 축상베어링 평가시에 잦은 오류 발생 - 검사자의 인적오류 발생



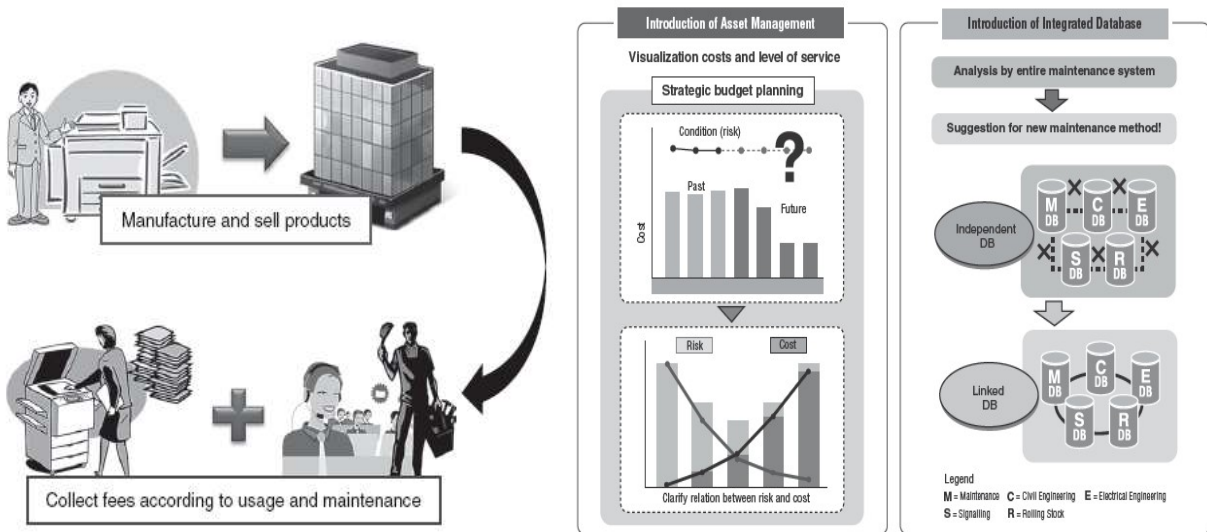
To be
<ul style="list-style-type: none"> ○ 주요부품의 상태 모니터링 및 데이터 분석을 통한 상태 기준(condition-based) 유지보수 수행 ○ 복합 물리량 데이터 분석을 통하여 고장판단 오류 감소 <ul style="list-style-type: none"> - 온도, 진동 및 소음 등 다양한 물리량을 동시에 분석함으로써 오류 감소 - 정확한 고장진단을 통한 운행장애 감소

- 정기적인 교체로 인한 부품교체의 비효율
 - 각각의 부품의 상태에 상관없이 정기적인 부품 교체
- 일정주기의 유지보수를 통한 비효율성 증가
 - 차량의 상태에 상관없이 정기적으로 일상/월상 검사 실시

- 손상진단 및 잔존수명 예측에 따른 부품 교체로 유지보수 비용 감소
 - 주요부품의 열화모델을 기반으로 향후 잔존수명을 정확히 예측
- 유지보수 스케줄링 최적화를 통한 효율성 증대
 - 차량의 상태를 표시하는 Heat map 기술을 통한 향후의 차량 상태 예측

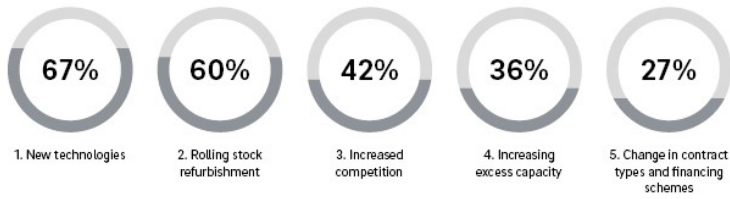
2. 철도산업 생태계의 변화

- 현재 정부에서는 철도차량 산업의 경쟁력을 강화하고, 철도부품 강소기업을 육성할 계획의 일환으로 제3차 철도산업발전 기본계획' (2016년~2020년)을 수립 중에 있음. 이러한 계획을 통해 경쟁 도입을 확대하고, 철도산업 생태계를 육성하기 위한 부응 시설 투자와 서비스 제공 및 R&D 투자를 확대할 계획임. 향후 철도산업의 운영·유지보수·안전에 관한 철도산업 생태계의 변화는 비즈니스 모델의 변화, IT 첨단기기의 접목에 의한 산업형태로 변모하게 될 것임..

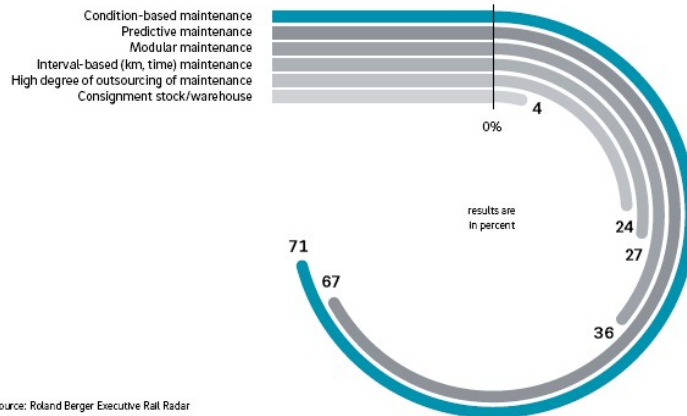


[그림 3.4] 철도 비즈니스 모델의 변화

NEW TECHNOLOGIES AND DIGITIZATION
are regarded as the main changes facing railway operators in the context of rolling stock



MAIN TRENDS IN MAINTENANCE
Condition-based and predictive maintenance are the top trends cited in the maintenance context



Source: Roland Berger Executive Rail Radar

[그림 3.5] 철도산업에서 유지보수 산업의 변화

3. 기술개발 전략 및 효과

가. 기술개발 전략

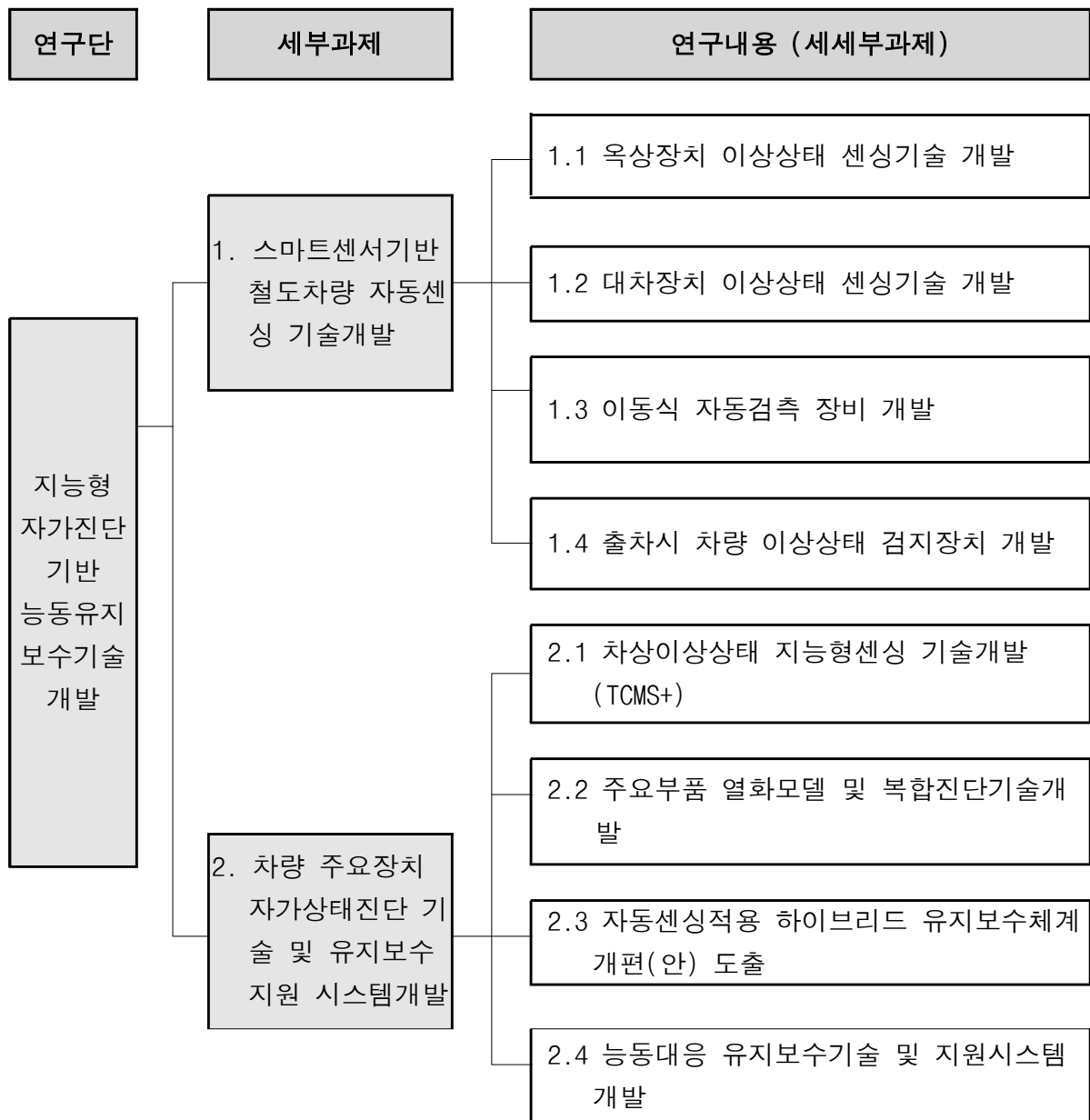
- 자동센싱 및 검측장치, 자가진단, 능동유지보수 분야 우수 기술 보유 전문기관들과 협동 또는 공동 연구 추진
- 철도유지보수분야 다년간 연구경험이 있는 박사급 연구진을 구성하고 철도운영처 및 차량기지 방문을 통해 현장전문가의 의견 수렴 및 현장시험 추진
- 기존 국내외에서 개발한 일상검지장치 및 유지보수 기술수준을 분석하고 이를 기반으로 기술개발 전략 수립
- 국내외 전문가 자문위원회 구성 및 회의를 통해 연구 내용 및 연구결과를 점검하고 연구방향을 수립
- 기존 프로젝트에서 추진된 기술수준 분석을 바탕으로 달성목표 수립

나. 기술개발 효과

- (검수업무 자동화) 매 3~7일마다 인력에 의존하여 이루어지고 있는 일상 또는 월상검수를 자동화 기기로 대체함으로써 유희인력을 경정비 및 중정비에 투입하여 정비외주화를 줄일 수 있음
 - 옥상기기(판토, 지붕 등)외관, 볼트 체결 상태 자동화에 따른 비용(일상검수)절감 약 50억원/년
 - 차륜외경 및 후렌지 치수 측정 자동화에 따른 비용(월상검수)절감 약 5억원/년
 - 브레이크 슈 및 라이닝 두께 측정 자동에 따른 비용(월상검수)절감 약 3억원/년
- (온라인 모니터링) 자동화 기기에 의한 모니터링으로 데이터의 축적이 용이하게 되며, 장기간에 걸친 상태변화를 분석함으로써 고장예방을 통한 안전성 및 가용성 향상
- (최적 유지보수) 상태변화 및 유지보수 자원의 최적화를 통한 철도차량 정비체계의 개선 및 상태기반유지보수(CBM) 적용을 통한 유지보수비용 절감
- (4차산업 선점) 4차 산업을 대표할 수 있는 IoT, AI, AR 기술을 선점함으로써 기술발전을 리드할 수 있는 토대 마련
- (유지보수비용 절감) 센싱 및 자동화된 로봇을 이용하여 적기에 검수를 수행함으로써 장기적으로 유지보수 비용의 절감을 도모할 수 있음
- (고급기술안정적확보) 유지보수인력의 고령화로 인한 경험전수가 차단되는 위험성으로부터 탈피하며 지속적이며, 안정적 수준의 유지보수 수행
- (상태기반검수) 상태에 기반한 유지보수체계의 확립을 통하여 불안감에서 주기적으로 수행하던 일상, 월상검수주기 연장 및 장기적으로 일상검수의 폐지
- (품질향상) 장기간의 상태분석을 통하여 취약부위를 집중 향상시킴으로써 장기적으로 안정적 철도운영 가능
- (경쟁력향상) 첨단센싱 및 자동화 유지보수 개념을 기술적으로 가능케 함으로써 국내 철도기술이 첨단철도라는 인식과 함께 해외 경쟁력 확보

3절 연구개발 과제 구성

- 연구단 과제인 “지능형 자가진단 기반 능동유지 보수 기술개발”의 세부과제는 2가지로 구분하여 구성함. 첫 번째 과제는 유지보수시간 단축 및 효율화를 위하여 스마트 센서를 이용하여 복합물리량을 측정하는 기술이고, 두 번째는 측정된 물리량 뿐 만아니라 다양한 검수 데이터를 이용하여 주요부품의 손상을 정확하게 평가하고 예측하기 위한 기술 개발임



4절 세부과제별 주요내용 및 추진전략

1. 세부과제별 주요내용

가. 스마트센서기반 철도차량 자동센싱 기술개발

□ 연구목표

- IoT 기반의 지능형 스마트센서와 레이저, 비전카메라 및 첨단전자기 카메라 등의 원격 검측기술을 활용한 철도차량 주요장치 차상/지상 지능형 센서기반 모니터링 및 자동화 검사장치 개발

□ 주요연구내용

(1) 옥상장치 이상상태 센싱기술 개발

- 옥상장치 감시대상, 방법 및 목표사양 설정 및 하이브리드 영상추출 알고리즘 개발
 - 옥상장치 유지보수 현황 분석
 - 옥상장치 감시대상, 방법 및 목표사양 설정
 - 하이브리드 영상추출 알고리즘 개발
- 머신러닝 기반 영상인식 알고리즘 개발 및 파일럿 시스템 제작
 - 머신러닝 기반 영상인식 알고리즘 개발
 - 시험실 파일럿 시스템 제작
- 옥상장치 이상상태 진단 빅데이터 구축 및 성능평가
 - 옥상장치 이상상태 진단 빅데이터 구축
 - 옥상장치 이상상태 진단 빅데이터 분석
 - 빅데이터 분석을 통한 이상상태 진단 성능평가
- 옥상장치 검사 테스트베드 구축 및 현장 성능평가
 - 옥상장치 검사 테스트베드 구축
 - 옥상장치 검사 테스트베드 현장 성능평가
- 문제점 개선 및 신뢰성 (내구성, 정밀도 등) 향상

(2) 대차장치 이상상태 센싱기술 개발

- 대차 감시대상장치, 센싱방법 및 목표사양 설정
 - 대차장치 유지보수 현황분석

- 대차 이상상태 감시 대상, 센싱방법 및 목표사양 결정
- 장치별 진단알고리즘 개발 및 파일럿 시스템 제작
- 대차 주요장치별 진단알고리즘 개발
- 대차 주요장치별 이상상태 진단 파일럿 시스템 제작
- 장치별 이상상태진단 빅데이터 구축 및 성능평가
- 대차 주요장치별 이상상태 진단 빅데이터 구축
- 대차 주요장치별 이상상태 진단 빅데이터 분석
- 빅데이터 분석을 통한 대차 주요장치별 이상상태 진단 성능평가
- 대차이상검사장치 테스트베드 구축 및 현장 성능평가
- 대차 주요장치 이상상태 검사 테스트베드 구축
- 대차 주요장치 이상상태 검사 테스트베드 현장 성능평가
- 문제점 개선 및 신뢰성 (내구성, 정밀도 등) 향상

(3) 이동식 자동검측 장비 개발

- 차륜 하이브리드 센서설계 및 자동검측장비 사양결정
- 차륜 유지보수 현황 분석
- 차륜 감시대상, 방법 및 목표사양 설정
- 진단알고리즘개발 및 파일럿 시스템 제작
- 차륜 결함 진단 알고리즘 개발
- 차륜 이상상태 진단 파일럿 시스템 제작
- 차륜 이상상태진단 빅데이터 구축 및 성능평가
- 차륜 이상상태 진단 빅데이터 구축
- 차륜 이상상태 진단 빅데이터 분석
- 빅데이터 분석을 통한 차륜 이상상태 진단 성능평가
- 차륜 이동식 자동검측장비 테스트베드 구축 및 현장 성능평가
- 이동식 차륜 이상상태 자동검측장비 테스트베드 구축
- 이동식 차륜 이상상태 자동검측장비 현장 성능평가
- 문제점 개선 및 신뢰성 (내구성, 정밀도 등) 향상

(4) 출차시 차량 이상상태 검지장치 개발

- 차량측면, 하부 감시대상장치, 방법 설정 및 검사장치 사양결정
- 출차시 차량 측면 및 하부 유지보수 현황 분석

- 출차시 차량 측면 및 하부 감시대상, 방법 및 목표사양 설정
- 이상상태 진단 알고리즘 개발 및 파일럿 시스템 제작
- 출차시 차량 측면 및 하부 이상상태 진단 알고리즘 개발
- 이상상태 진단 파일럿 시스템 제작
- 측면, 하부장치 이상상태진단 빅데이터 구축 및 성능평가
- 측면, 하부장치 이상상태 진단 빅데이터 구축 및 분석
- 빅데이터 분석을 통한 측면, 하부장치 이상상태 진단 성능평가
- 출차검사장치 테스트베드 구축 및 현장 성능평가
- 문제점 개선 및 신뢰성(내구성, 정밀도 등) 향상

□ 주요 최종성과물

- 옥상장치 이상상태 검사 장치
- 대차 이상상태 검사장치
- 차륜 이상상태 이동식 자동검측장치
- 출차차량 이상상태 검사장치

[표 3.1] 제 1 세부과제 주요기술 년차별 추진계획

일련 번호	기술확보	추진 일정 (연도별)																			
		1차년도				2차년도				3차년도				4차년도				5차년도			
		1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4
1	옥상장치 감시대상, 방법 및 목표사양 설정 및 하이브리드 영상추출 알고리즘 개발																				
2	머신러닝 기반 영상 인식 알고리즘 개발 및 파일럿 시스템 제작																				
3	옥상장치 이상상태 진단 빅데이터 구축 및 성능평가																				
4	옥상장치 검사 테스트베드 구축 및 현장 성능평가																				
5	문제점 개선 및 신뢰성(내구성, 정밀도 등) 향상																				

일련 번호	기술확보		추진 일정 (연도별)																				
			1차년도				2차년도				3차년도				4차년도				5차년도				
			1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	
6	대차장치 이상상태 센싱기술 개발	대차 감시대상장치, 센싱방법 및 목표사 양 설정	■	■	■	■																	
7		대차장치 진단알고 리즘 개발 및 파일 럿 시스템 제작					■	■	■	■	■												
8		대차장치 이상상태 진단 빅데이터 구축 및 성능평가																					
9		대차이상검사장치 테스트베드 구축 및 현장 성능평가																					
10		문제점 개선 및 신 뢰성 (내구성, 정밀 도 등) 향상																					
11	이동식 차륜상세 검사장비- 차륜(균열) (초음파+ 전자기)	차륜 하이브리드 센서설계 및 자동 검측장비 사양결정	■	■	■	■																	
12		진단알고리즘개발 및 파일럿 시스템 제작					■	■	■	■													
13		차륜 이상상태진단 빅데이터 구축 및 성능평가																					
14		차륜 이동식 자동검 측장비 테스트베드 구축 및 현장 성능 평가																					
15		문제점 개선 및 신 뢰성 (내구성, 정밀 도 등) 향상																					
16	출차시 차량(측면, 하부) 이상상태(머신비전)	차량측면, 하부 감 시대상장치, 방법 설 정 및 검사장치 사 양결정	■	■	■	■																	
17		이상상태 진단 알고 리즘 개발 및 파일 럿 시스템 제작					■	■	■	■	■												
18		측면, 하부장차 이상 상태진단 빅데이터 구축 및 성능평가																					

- 차륜의 답면 손상 모드 분석 및 열화모델 개발
- 차륜 손상관련 빅 데이터 분석(프로파일, 검수데이터 등)
- 차륜 손상과 복합물리량 상관관계 분석 기술
- 차륜의 답면 손상 종류에 따른 복합물리량 기준치 개발
- 제동장치 열화모델 및 진단 기술개발
 - 제동 디스크 및 슈의 손상 모드 및 열화 모델 개발
 - 제동 디스크의 열균열 및 마모 특성 평가 및 분석
 - 제동 디스크 및 슈의 영상/열화상 데이터 저장 및 처리 기술
 - 제동 디스크 및 슈의 손상 종류에 따른 기준치 개발
- 축상베어링 열화모델 및 진단 기술개발
 - 축상베어링 손상 모드 및 열화 모델 개발
 - 축상베어링 손상관련 온도 및 진동 데이터 분석 기술
 - 축상베어링의 손상 평가 모델 시험평가
 - 축상베어링의 손상 종류에 따른 기준치 개발

(3) 자동센싱 적용 하이브리드 유지보수체계 개편(안) 도출

- 기존 유지보수 체계 분석 및 위험도 산출
 - 일상/월상 검사 유지보수 체계 분석
 - 기존 유지보수체계 적용에 따른 위험도 분석
- 하이브리드 유지보수체계 시뮬레이션 S/W 개발
 - 신뢰도 기반 하이브리드 유지보수체계 개념정립
 - 하이브리드 유지보수체계 모델 및 S/W 개발
- 하이브리드 유지보수체계 개편(안) 도출
 - 하이브리드 유지보수체계 시뮬레이션
 - 하이브리드 유지보수체계 현장 적용 및 문제점 개선
 - 하이브리드 유지보수체계 개편(안) 도출

(4) 능동대응 유지보수 지원시스템 개발

- 검수데이터 분석 및 차량상태 가시화 기술
 - 검수관련 빅데이터 분석기술 개발
 - 빅데이터 기반 열화도 평가기술 개발
 - 차량열화상태 가시화 기술 개발

- 일상/월상 유지보수 스케줄링 기술
 - 센싱 데이터 기반 부품의 교체시기 평가
 - 주요장치의 기능저하 예측 및 유지보수 평가
 - 빅데이터를 이용한 유지보수 최적화 기술
- 최적유지보수 지원시스템 개발
 - 주요부품 위험도 평가 모델 개발
 - 주요부품 교체 및 가용자원 최적화 기술개발
 - 모바일 기반 유지보수지원 시스템 개발
 - 최적유지보수 지원시스템 개발 및 적용

□ 주요 최종성과물

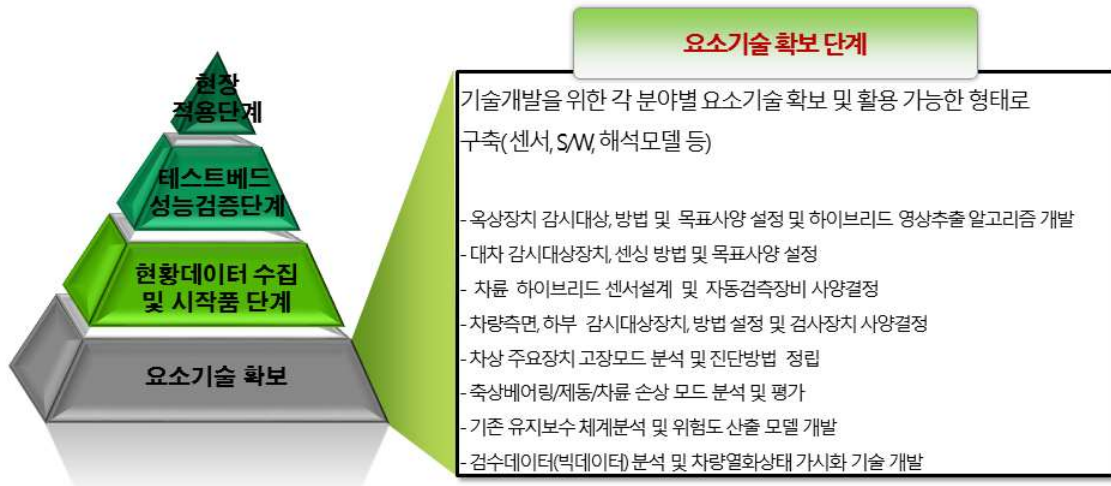
- 차량 주요장치 자가진단 시스템(TCMS+) (H/W, S/W)
- 차륜 피로/마모/열손상 열화모델(S/W)
- 제동장치 피로/마모/열피로 열화모델(S/W)
- 축상베어링 피로/마모 열화모델(S/W)
- 하이브리드 유지보수체계 시뮬레이션 시스템(S/W)
- 하이브리드 유지보수체계 개편(안)
- 최적유지보수 지원시스템(S/W)

[표 3.2] 제 2 세부과제 성과지표 및 년차별 달성목표

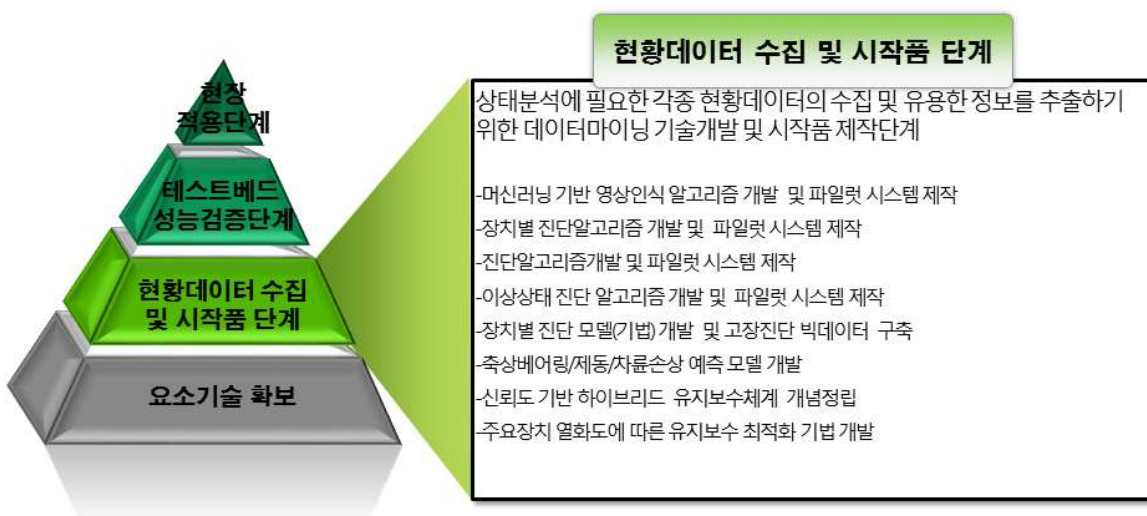
일련 번호	기술확보		추진 일정 (연도별)																			
			1차년도				2차년도				3차년도				4차년도				5차년도			
			1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4
1	차상이상 상태 지능 형센싱 (TCMS+) 기술개발	차상주요장치 고장 모드 분석 및 진단 기술	■	■	■	■																
2		대차 이상상태 모니 터링 기술	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
3		차량자가진단 시스 템(TCMS+) 기술									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
4	손상역학 기반 주요 부품 열화	차륜의 열화 모델 및 진단 기술	■	■	■	■																

2. 추진전략

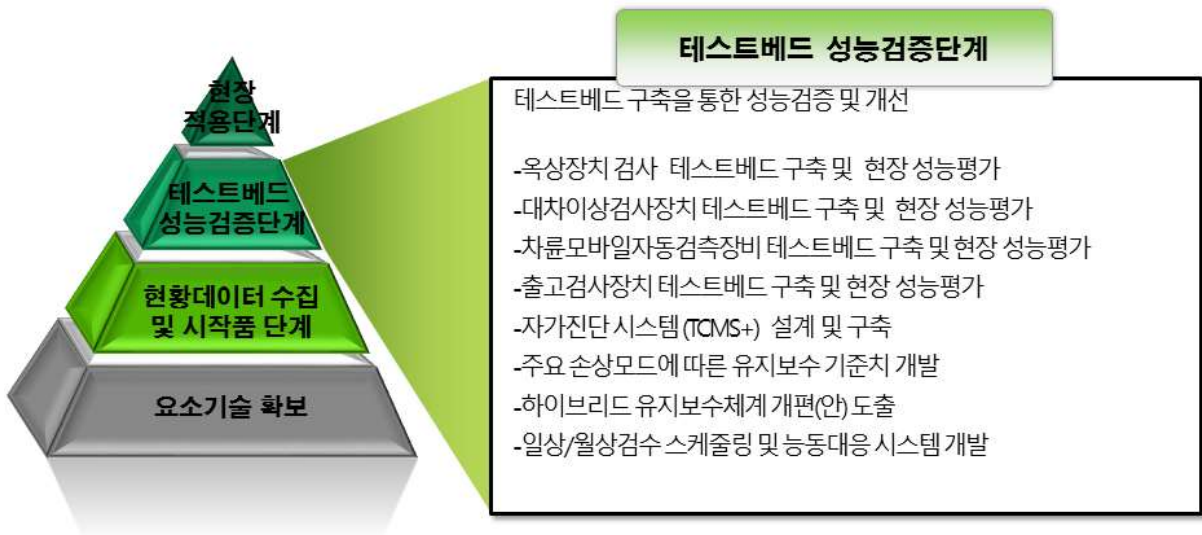
- 연구개발의 최종목표를 달성하기 위해 4단계의 추진전략을 수립하였음
 - 1단계 : 요소기술 확보단계로 기술개발을 위한 각 분야별 요소기술 확보 및 활용 가능한 형태로 구축
 - 2단계 : 현황데이터 수집 및 시작품 단계로 상태분석에 필요한 각종 현황데이터의 수집 및 유용한 정보를 추출하기 위한 데이터마이닝 기술개발 및 시작품 제작 단계
 - 3단계 : 테스트베드 구축 및 성능검증단계로 각 기술별 테스트베드를 구축하고 성능검증 및 개선 수행
 - 4단계 : 현장적용단계로 현장적용을 통한 문제점 파악 및 개선을 통한 실용화 추진



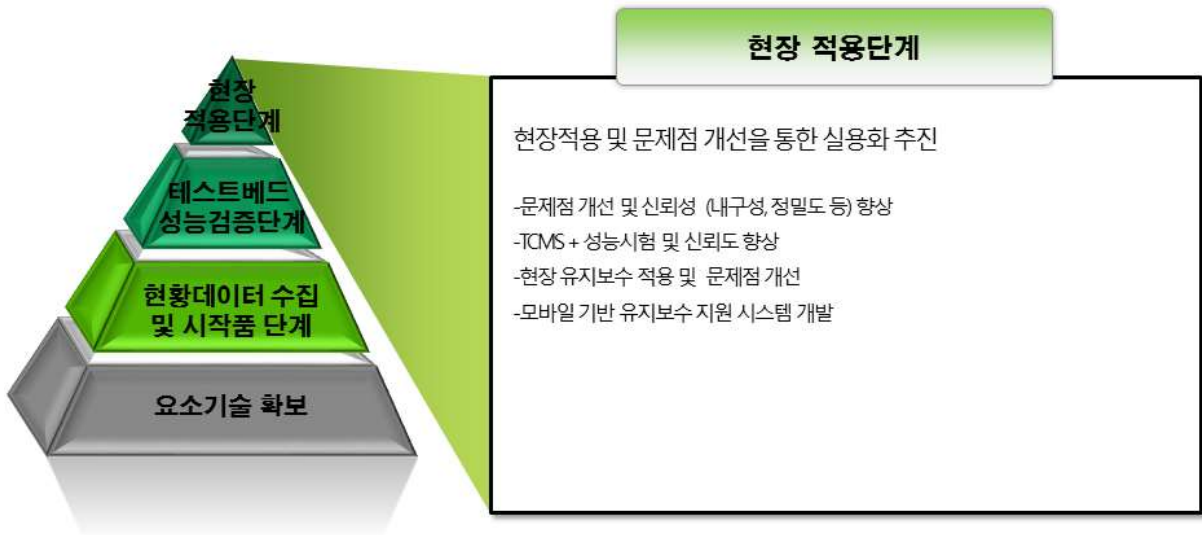
[그림 3.6] 요소기술 확보단계 추진전략



[그림 3.7] 현황데이터 수집 및 시작품 단계



[그림 3.8] 테스트베드 성능검증단계 추진전략

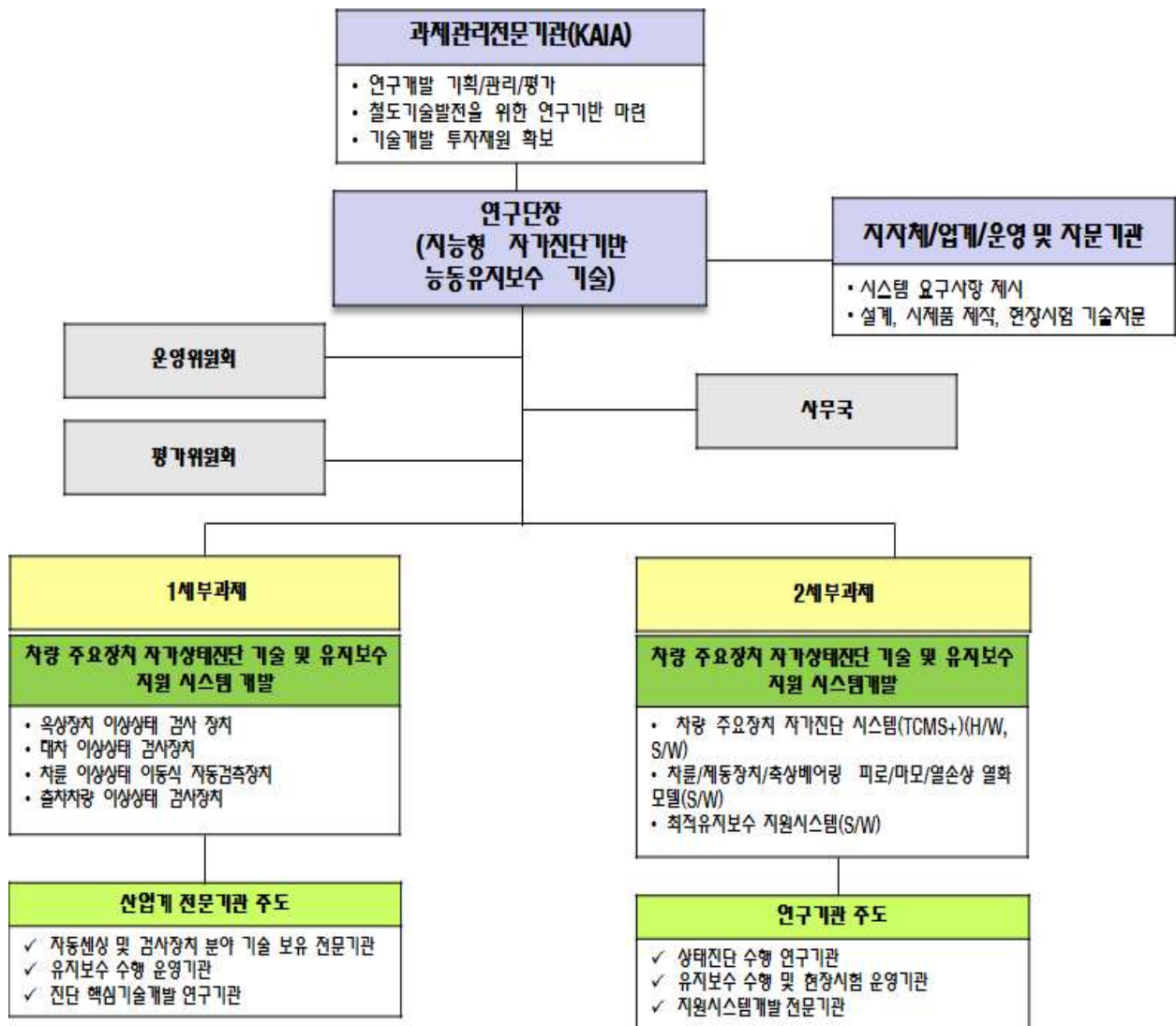


[그림 3.9] 현장 적용단계 추진전략

5절 연구추진체계

1. 연구추진체계

- 본 연구과제는 IoT 지능형 스마트센서 기반 철도차량 주요장치 차상/지상 모니터링 및 자동화 검사장치 개발 및 차량의 주요부품의 상태를 진단하고 향후 수명을 신뢰성 있게 예측하는 기술 개발을 목표로 하며 자동센싱 및 검측장치 개발 업체, 프로그램 개발 업체, 운영기관, 연구기관 등의 가능한 전문기관의 연구 참여를 통한 신속한 기술 개발 및 연구 결과의 신뢰성 확보가 필요함. 유지보수 관련 자동검사장치 및 유지보수 지원시스템 개발과 상태 진단 및 수명평가 예측기술은 상호 유기적으로 연계되어 개발 되어야 하므로 이를 위해 연구단 과제로 추진되어야 함



[그림 3.10] 과제수행체계

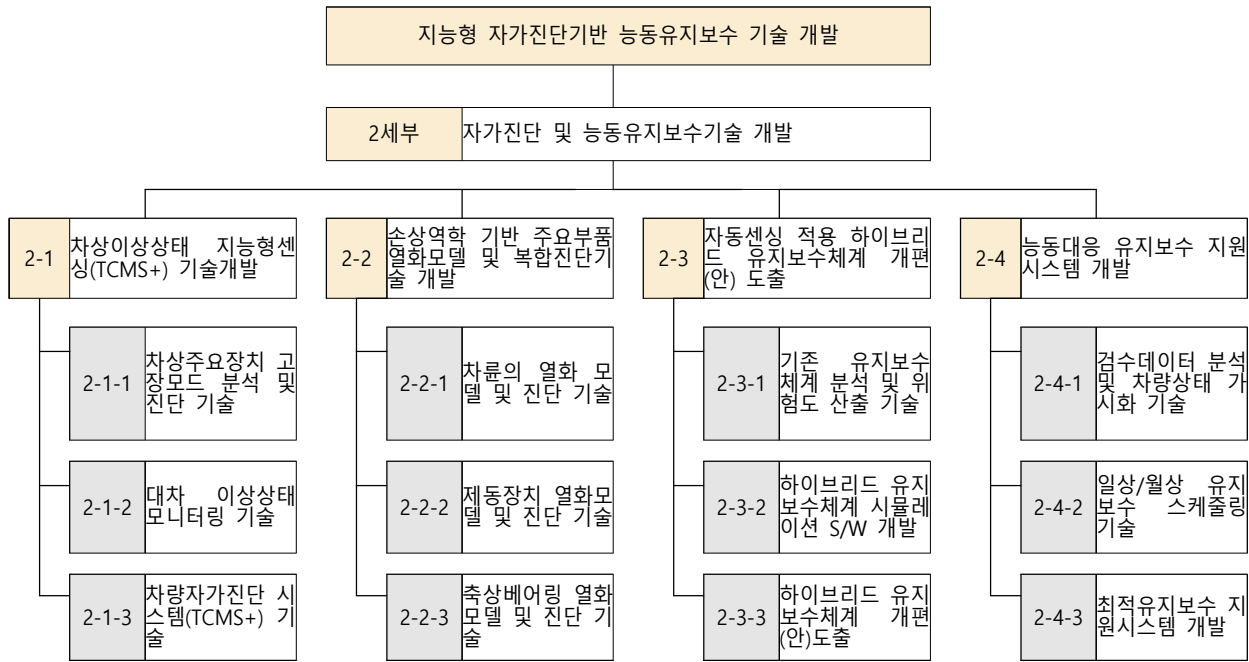
- 1세부과제의 차량 주요장치 자가상태진단 기술 및 유지보수지원 시스템 개발의 경우 자동센싱 및 검사장치 분야 우수 기술을 보유한 전문기관과 유지보수를 수행하고 있는 운영기관, 모니터링 및 진단 핵심기술을 개발할 연구기관 등의 참여가 필수적이며, 이러한 산학연 컨소시엄을 통하여 과제가 진행되어야 원활한 기술개발이 수행될 수 있음
- 2세부과제의 차량 주요장치 자가상태진단 기술 및 유지보수지원 시스템개발의 경우 물리적 센싱량을 이용하여 상태진단을 수행할 수 있는 연구기관, 유지보수지원 시스템 개발을 수행할 전문기관, 연구개발 결과의 수요처이며 현장시험을 추진해야 하는 운영기관 등의 연구 참여가 필요하며, 이와 같은 산학연 컨소시엄을 통하여 과제가 진행되어야 함
- 1세부 및 2세부과제 모두 국내외 전문가 자문위원회를 구성하여 정기적 자문을 통한 연구 결과 품질 향상을 도모하여야 함

2. 연구추진체계 구성

[표 3.3] 연구추진체계 구성 (1세부과제)



[표 3.4] 연구추진체계 구성 (2세부과제)

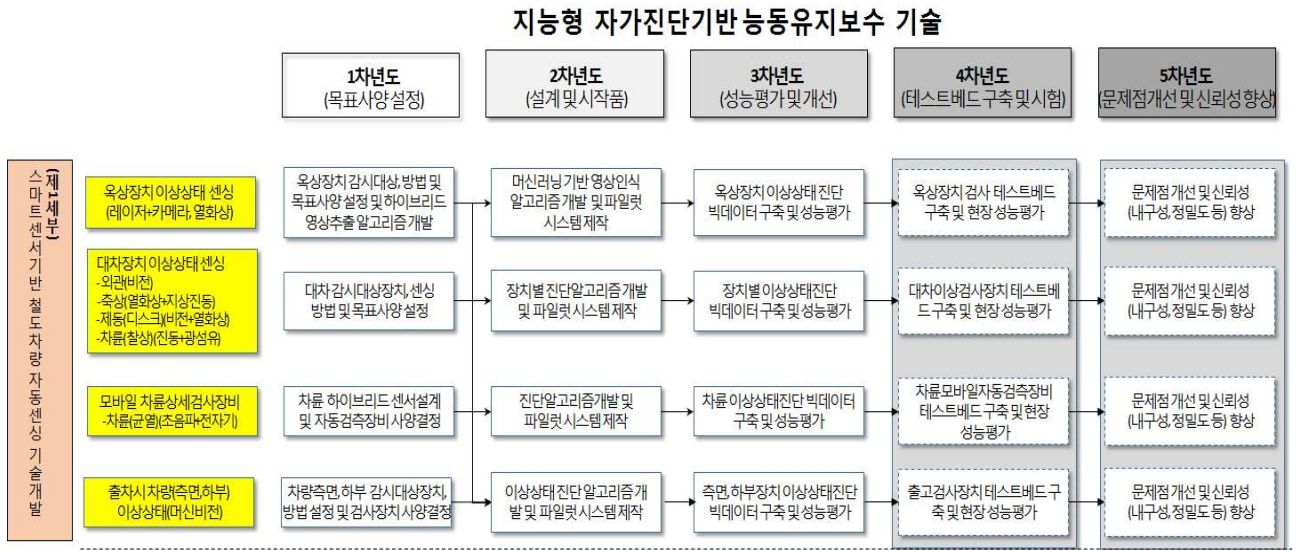


3. 연구추진체계간 고려사항

- 국내 철도유지보수 기술 전문가 그룹을 구성하고 산학연 연계 및 정부 지원 하에 연구를 수행
- 1 세부과제는 시제품 제작 및 시험 평가를 위해 관련 산업체가 주도적으로 추진하는 것이 바람직하며, 2 세부과제는 기초 요소기술 연구를 위한 대학 등의 연구기관 참여가 바람직함
- 월천기술 및 시제품의 테스트베드를 통한 실차 검증을 위해 디젤기관차를 보유한 운영기관의 참여가 바람직함
- 연구내용의 검증 및 객관성 확보를 위해 외부 전문가 자문위원회 구성 및 운영하고, 연구내용의 기술적·정책적·경제적 보완사항에 대한 자문을 받을 것
- 연구개발 성과의 실제적용 과정에서 설계사항 변경가능성을 줄일 수 있도록 연구과정에서 철도 전문기술을 보유한 기관을 반드시 참여하도록 함
- 본 연구는 산·학·연 공동연구를 기본으로 하며, 필요시 선도적 위치에 있는 해외기관 및 전문가와 공동연구를 추진할 수 있음
- 연구신청자는 과도한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모할 것
- 연구진의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고 필요
- 참여 연구기관 간 유기적인 협력 체계를 구축할 것
- 참여 연구기관 간 협력을 통한 기술개발 과제 간 연계성 확보 및 협조 체계 구축

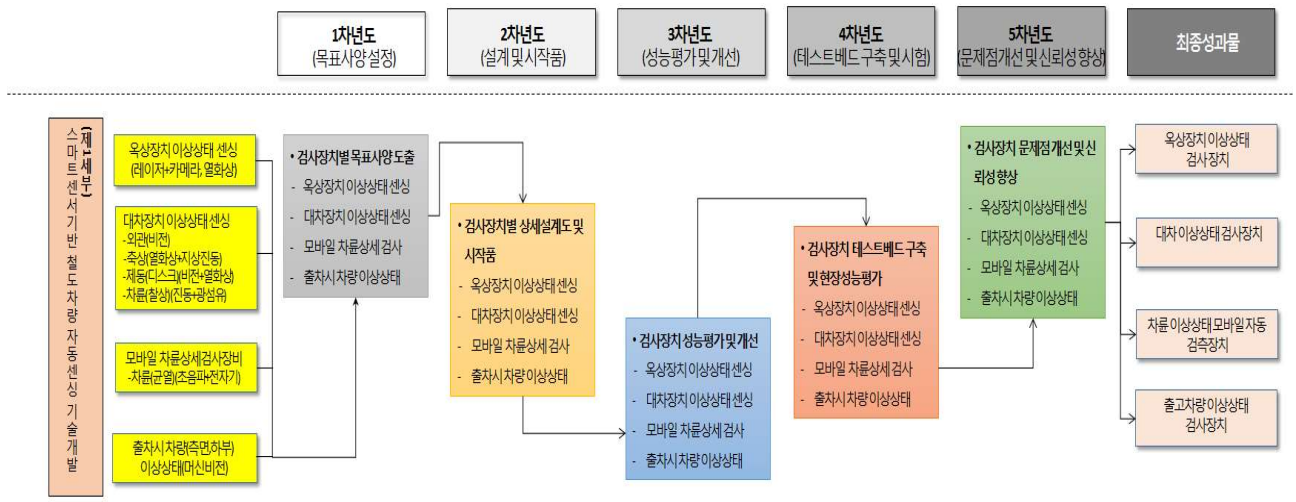
가. 스마트센서기반 철도차량 자동센싱 기술개발

○ 기술개발 로드맵



[그림 3.12] 스마트센서기반 철도차량 자동센싱 기술개발 로드맵

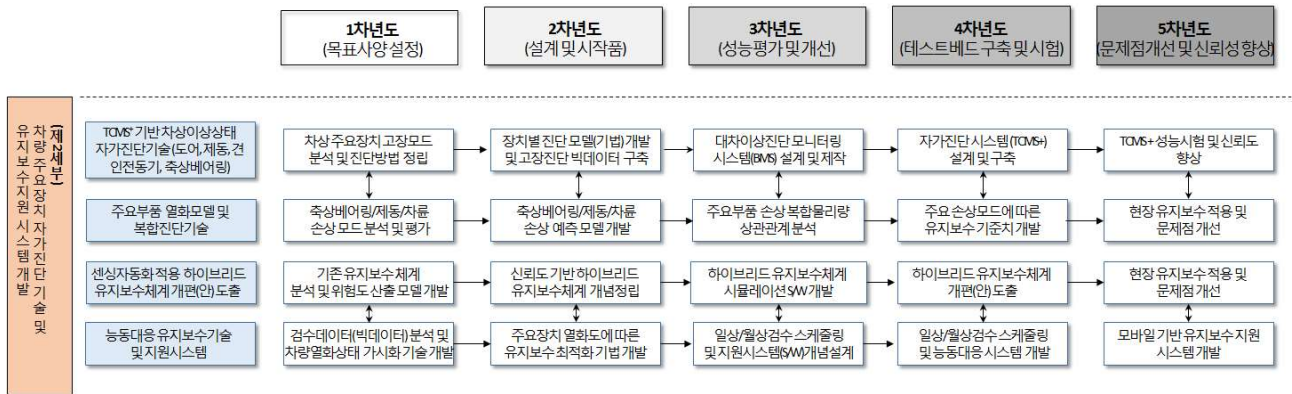
○ 성과 로드맵



[그림 3.13] 스마트센서기반 철도차량 자동센싱기술 성과 로드맵

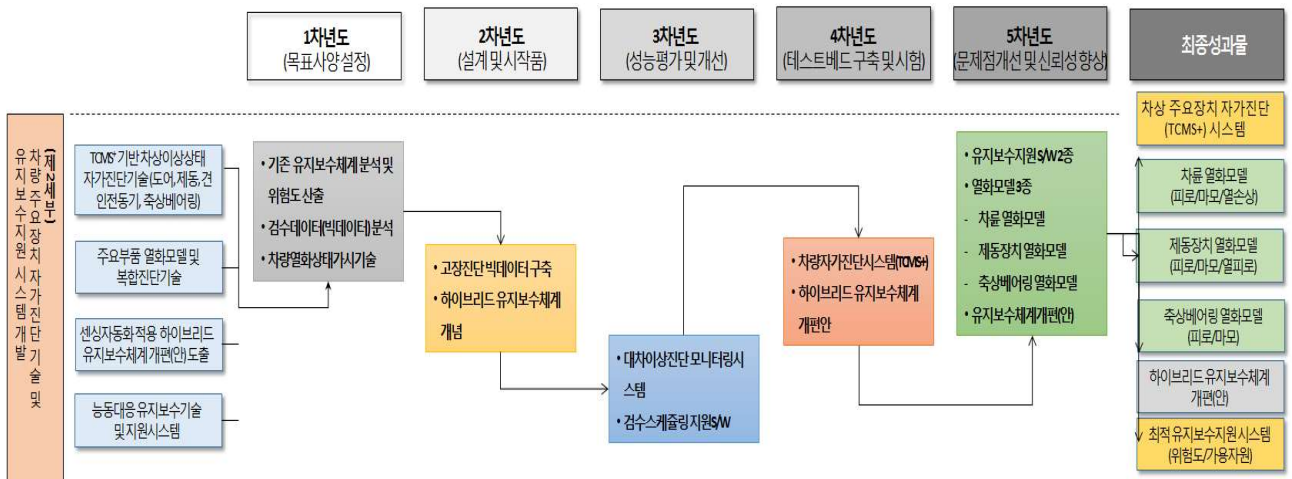
나. 차량 주요장치 자가상태진단 기술 및 유지보수지원 시스템개발

○ 기술개발 로드맵



[그림 3.14] 자가상태진단기술 및 유지보수지원시스템 개발 로드맵

○ 성과 로드맵



[그림 3.15] 자가상태진단기술 및 유지보수지원시스템 성과 로드맵

2. 세부과제별 성과목표

□ 스마트센서기반 철도차량 자동센싱 기술개발

[표 3.5] 제 1 세부과제 성과지표 및 년차별 달성목표

유형	지표 구분	성과지표	1차(년) 목표	2차(년) 목표	3차(년) 목표	4차(년) 목표	5차(년) 목표	최종목표
산출 (Output) 지표	기술적 목표	육상장치 이상상태 센싱기술 개발	육상장치 감시대상, 방법 및 목표사양 설정 및 하이버리드 영상추출 알고리즘 개발	머신러닝 기반 영상인식 알고리즘 개발 및 파일럿 시스템 제작	육상장치 이상상태 진단 빅데이터 구축 및 성능평가	육상장치 검사 테스트 베드 구축 및 현장 성능평가	문제점 개선 및 신뢰성 (내구성, 정밀도 등) 향상	이상상태 진단 신뢰도 90% 최소결함 검출 0.5mm
		대차장치 이상상태 센싱기술 개발	대차 감시대상장치, 센싱 방법 및 목표사양 설정	장치별 진단 알고리즘 개발 및 파일럿 시스템 제작	장치별 이상상태진단 빅데이터 구축 및 성능평가	대차이상감사장치 테스트베드 구축 및 현장 성능평가	문제점 개선 및 신뢰성 (내구성, 정밀도 등) 향상	대차장치 이상상태 센싱시스템 (이상진단 신뢰도 90%/회)
		이동식 차량상세검사장비	차륜 하이버리드 센서 설계 및 자동검측장비 사양결정	진단알고리즘개발 및 파일럿 시스템 제작	차륜 이상상태진단 빅데이터 구축 및 성능평가	차륜 이동식 자동검측장비 테스트베드 구축 및 현장 성능평가	문제점 개선 및 신뢰성 (내구성, 정밀도 등) 향상	이동식 차량상세검사장비 (검사정확도 25mm ² 물체 95%/회)
		출차시 차량(측면, 하부) 이상상태(머신비전)	차량측면, 하부 감시대상장치, 방법 설정 및 검사장치 사양결정	이상상태 진단 알고리즘 개발 및 파일럿 시스템 제작	측면, 하부 장치 이상상태진단 빅데이터 구축 및 성능평가	출차검사장치 테스트베드 구축 및 현장 성능평가	문제점 개선 및 신뢰성 (내구성, 정밀도 등) 향상	출차시 차량(측면, 하부) 이상상태 센싱시스템 (이상진단 오류 10% 이하/회)
	표준 지표	논문 학술지 발표/게재	3/0	3/2	3/2	3/2	3/2	15/8
		특허 출원 건수	-	2	1	2	2	7
		소프트웨어 개발건수	-	-	2	1	2	5
		시제품 개발 건수	-	-	-	1	3	4
	산출 (Outcome) 지표	과제의 공공적 목표						
		표준 지표	세계최고수준대비 기술수준	70%	80%	90%	95%	100%

□ 자가진단 및 능동유지보수기술 개발

[표 3.6] 제 2 세부과제 성과지표 및 년차별 달성목표

유형	지표 구분	성과지표	1차(년) 목표	2차(년) 목표	3차(년) 목표	4차(년) 목표	5차(년) 목표	최종목표	
산출 (Output) 지표	기술적 목표	차상주요장치 자가진단 시스템	차상주요장치 고장분석/진단 방법 정립	장치별진단 모델개발 및 고장진단 빅데이터 구축	대차이상 진단모니터링 시스템 설계 및 제작	자가진단시스템 (TCMS+)설계 및 구축	TCMS+성능 시험 및 신뢰도향상	TCMS+ 개발을 통한 차량 자가진단 기술 확보 (진단시스템 신뢰도 95%)	
		차륜/제동장치/축상베어링 열화모델 및 복합진단시스템	차륜/제동장치/축상베어링손상모델 분석/평가	차륜/제동/축상베어링 손상예측 모델 개발	주요부품손상복합물리량상관관계 분석	주요손상모드에 따른 유지보수 기준치개발	현장유지보수 적용 및 문제점 개선	손상역학기반 주요부품열화 모델개발 및 복합진단기술 확보 (모델신뢰도 85%이상/회)	
		하이브리드 유지보수체계(안)	기존유지보수체계 분석 및 위험도 산출	신뢰도기반 하이브리드 유지보수체계 개념정립	하이브리드 유지보수체계 시뮬레이션 S/W개발	하이브리드 유지보수체계개편(안) 도출	현장유지보수 적용 및 문제점 개선	자동센싱기반 하이브리드 유지보수체계 확립	
		최적유지보수 지원 시스템	검수관련 빅데이터 분석 및 차량열화 가시화 기술 개발	주요장치 열화도에 따른 유지보수 최적화 기법 개발	일상/월상 검수 스케줄링 및 지원 시스템개념 설계	일상/월상 검수스케줄링 및 능동 대응시스템 개발	모바일기반 유지보수지원 시스템 개발	빅데이터기반 유지보수 최적화 기술 확보 (지원투입 20% 절감)	
	표준 지표	논문 학술지 발표/게재	3/0	3/2	3/2	3/2	3/2	15/8	
		특허 출원 건수	-	2	1	2	2	7	
		소프트웨어 개발건수	-	-	2	1	2	5	
		시제품 개발 건수	-	-	-	1	3	4	
	산출 (Outcome) 지표	과제의 궁극적 목표	유지보수최적화 기술확보	주요부품 손상모델	고장진단빅데이터구축	복합물리량진단기술	자가진단기술 및 시스템 개발	자가진단기술 및 시스템 개발	유지보수최적화 기술확보
			차량고장률 감소 및 안전성 확보	철도안전성향상 기반기술	철도안전성향상 방안 및 시스템 개발	철도안전성향상 방안 및 시스템 개발	철도안전성향상 방안 기술확보	철도안전성향상 방안 기술적용 및 운영	차량고장률 감소 및 안전성향상 기술
표준 지표		세계최고수준대비 기술수준	70%	80%	90%	95%	100%	100%	

3. 성과물 검증방안

- 전문가 자문에 의한 검증
 - 운영기간, 제작사, 학계 전문가들의 자문회의를 통한 검증
 - 국내외 학술대회 및 논문 발표를 통한 모델 검증
- 테스트베드 시험, 운영에 따른 검증
 - 과제에서 구축하는 Test Bench를 통하여 검증
 - 개발된 시스템들을 실제 개조차량에 설치하여 안전성/운용성 검증

[표 3.7] 제 1 세부과제 성과지표 및 성과물 검증방안

유형	지표 구분	성과지표	도출근거	평가(검증)방안
산출 (Output) 지표	기술적목표	옥상장치 이상상태 센싱기술 개발	현장 활용성 증대를 위해 반드시 필요한 기술	운영사 및 전문가 자문/검증
		대차장치 이상상태 센싱기술 개발	현장 활용성 증대를 위해 반드시 필요한 기술	운영사 및 전문가 자문/검증
		이동식 차륜상세검사장비	현장 활용성 증대를 위해 반드시 필요한 기술	운영사 및 전문가 자문/검증
		출차시 차량(측면,하부) 이상상태(머신비전)	현장 활용성 증대를 위해 반드시 필요한 기술	운영사 및 전문가 자문/검증
	표준 지표	논문 학술지 발표/게재	핵심 기술 개발 및 검증	논문게재확인
		특허 출원 건수	핵심 기술 개발 및 검증	특허 출원증 제시
		소프트웨어 개발건수	핵심 기술 개발 및 검증	시제품 제시
		시제품 개발 건수	사양 대비 성능검증	시험성적서
산출 (Outcome) 지표	과제의 궁극적 목표	유지보수최적화 기술확보	유지보수 최적화를 통한 가용성 및 비올절감 증대	현장 적용을 통한 검증
		차량고장률 감소 및 안전성 확보	안전성확보는 철도서비스의 가장 중요한 요소	최종(중간)보고서 내용 확인
	표준 지표	세계최고수준대비 기술수준	세계최고의 수준 목표	전문가 자문 및 검증

[표 3.8] 제 2 세부과제 성과지표 및 성과물 검증방안

유형	지표 구분	성과지표	도출근거	평가(검증)방안
산출 (Output) 지표	기술적목표	차상주요장치 자가진단 시스템	현장 활용성 증대를 위해 반드시 필요한 기술	운영사 및 전문가 자문/검증
		차륜/제동장치/축상베어링 열화모델 및 복합진단시스템	현장 활용성 증대를 위해 반드시 필요한 기술	운영사 및 전문가 자문/검증
		하이브리드 유지보수체계(안)	현장 활용성 증대를 위해 반드시 필요한 기술	운영사 및 전문가 자문/검증
		최적유지보수 지원시스템	현장 활용성 증대를 위해 반드시 필요한 기술	운영사 및 전문가 자문/검증
	표준 지표	논문 학술지 발표/게재	핵심 기술 개발 및 검증	논문게재확인
		특허 출원 건수	핵심 기술 개발 및 검증	특허 출원증 제시
		소프트웨어 개발건수	핵심 기술 개발 및 검증	시제품 제시
		시제품 개발 건수	사양 대비 성능검증	시험성적서
산출 (Outcome) 지표	과제의 궁극적 목표	유지보수최적화 기술확보	유지보수 최적화를 통한 가용성 및 비올절감 증대	현장 적용을 통한 검증
		차량고장률 감소 및 안전성 확보	안전성확보는 철도서비스의 가장 중요한 요소	최종(중간)보고서 내용 확인
	표준 지표	세계최고수준대비 기술수준	세계최고의 수준 목표	전문가 자문 및 검증

제4장 사전타당성 검토

1절 정책적 타당성

1. 상위계획과의 부합성

- 국내 정책동향 분석을 위하여 철도 능동유지보수와 관련된 상위계획 6개와의 부합성을 검토하였음

계획명	주관부처	부합성		
		낮음	보통	높음
현정부 국정운영 5개년 계획	과학기술 정보통신부			√
국가재정운용계획 (2017-2021)	국토교통부			√
국토교통 연구개발 중장기전략(2014-2023)	국토교통부			√
제3차 국가 교통기술 개발계획 (2014-2018)	국토교통부			√
제3차 국가 철도망 구축계획 (2016-2025)	국토교통부		√	
국토교통 연구개발 사업 개편 (2018-2023)	국토교통부			√

- 제3차 국가교통기술개발계획에서는 5년(2014~2018)간 교통기술의 연구개발을 촉진
 - 열차운행 100만km당 사고건수 10% 저감을 목표로 정확하고 경제적인 철도를 위한 철도운영 및 유지관리 기술개발 추진.
- 제3차 철도안전종합계획(2016~2020)에서의 비전으로는 “국민이 안심하고 신뢰하는 인명중시 철도안전 구현”을 목표로써 대형철도사고 ZERO화, 철도사고 30%감소(2020년까지)를 설정하고 있으며 주요 추진과제는 다음과 같음.
 - 운영자 책임 강화, 종사자 역량 증진 등 자발적 안전관리 체계 구축
 - 노후시설 개량, 생애주기 관리 강화 등 철도 인프라의 안전성 향상
 - 노후차량 교체, 부품관리 강화 등 철도 운행 안전성 제고
- 국토교통 연구개발 중장기 전략(2014-2023)에서는 미래가치 창출을 위한 10대 중점프로젝트를 발굴·제시
 - 철도교통시스템의 안전성 및 경제성을 위한 기술로 “철도차량 및 인프라 상태를 자동으로 실시간 모니터링, 진단 및 유지보수 기술을 개발하여 안전사고 예방 기술” 추진
- 유럽에서는 철도의 안전성 제고를 위한 운영 및 유지보수 부분의 신기술 개발에 노력

하고 있음.

- 안전 및 건강에 대한 니즈 확대에 인하여 이를 충족시켜 줄 수 있는 철도기술개발에 대한 요구가 증대하고 있음. 새로운 철도 재료 및 모니터링 시스템 개발, 철도 유지보수를 위한 IT 기반 확충 및 관련 기술개발, 유지보수 기계에 대한 신기술 개발, 센서개발 등이 추진되고 있음.
- 철도시스템의 유지관리 기준 및 공법에 대하여 신뢰성 중심의 유지보수에 대한 연구가 진행되었으며, 각국이 유지보수 기준을 보유
- 유럽 연합을 중심으로 신뢰성 중심 유지보수(RCM)에 대한 연구를 수행, 신뢰성 및 최적화 이론을 유지보수주기 및 예비품 소요량 산정에 적용하는 연구를 수행하여 적용
- 철도차량은 대표적인 장수명 이동수단의 하나로써 설계수명이 통상 25년 정도로써, 일반철도 및 도시철도는 도입되어 운행되는 차량 중에 노화된 차량이 많아짐에 따라서 유지보수시간 및 비용이 증가하고 있음.
- 고속철도 역시 국내에 도입된지 10여년 이상을 운행하면서 점차 노후화되고 있으며, 운행지연 5분 이상을 야기한 전체 사고/장애 요인들 중 차량요인이 절반에 가까운 43%이며, 차량요인 중에서 동력전달장치 고장과 동력전달장치 제어, 즉 동력전달부에서 이상이 발생한 비율이 거의 절반인 51%으로써, 유지보수의 문제가 중요함.
- 철도차량 유지보수에 대한 연구가 이루어지고 있으나 시스템적인 접근이 이루어지지 않고 있으며, 구조물이나 주요 부품/구성품의 이상상태를 모니터링하기 위한 연구가 단편적으로 이루어져 왔음.
- 철도시스템 고속화에 따른 신뢰성 및 안전성 향상과 유지보수 비용 절감이라는 두 가지 측면을 모두 충족시키기 위한 새로운 기술개발 노력이 필요하며, 이를 위해 철도차량 유지보수 고도화가 이루어져야 함.
- 유지보수 고도화를 위해서는 제4차 산업혁명에 따른 인공지능, 빅데이터, IoT 등을 철도에 접목시켜서, 첨단장비를 이용한 지능형 센싱기술, 이동식 자동검측기술, 빅데이터 분석기반 자가진단기술 및 빅데이터 분석기반 자가진단기술 등 첨단기술개발이 필요함.
- 해외철도시장은 단순히 차량, 인프라 등의 개별적 공급에서 벗어나 운용을 포함한 전체 철도시스템을 요구하는 추세이므로, IoT 기술을 철도 시스템 전체에 적용하여 세계 시장에서 경쟁력을 갖춘 지능형 자가진단 및 능동대응 기술 개발이 시급이 요구됨

2. 사업추진의지

- 국토교통 연구개발 중장기전략(2014~2023)에서 미래가치 창출을 위한 10대 중점프로젝트를 발굴·제시하였으며, 이중에 “스마트 철도교통시스템”을 추진하고 있음.
 - “스마트 철도교통 시스템”은 수송성, 정시성 및 친환경성이 뛰어난 철도교통시스템의 안전성, 경제성 및 효율성을 제고하기 위한 제반 기술 확보하는 것
 - 철도차량 및 인프라 상태를 자동으로 실시간 모니터링, 진단 및 유지보수 기술을 개

발하여 안전사고 예방

- 정부는 2013년 6월 발표한 철도산업 발전방향에서 “정시성, 안전성 등 기준을 정립하고, 철도운송 표준약관을 도입하여 운영자와 관계없이 일정 서비스 수준 확보” 라는 운영개선을 언급하며, 실시간 철도안전 시스템이 정부의 전략을 위한 효율적인 방안이 될 것임.
- 2040 국토교통 200대 미래 유망기술로써 철도차량의 모니터링 및 유지보수 자동화에 대한 기술을 포함하고 있음.
 - 연중 무사고/무재해 운영을 위한 실시간 철도사고 예측/안전 모니터링 시스템
 - 철도차량, 인프라의 자동진단을 통해 무인운전을 위한 인공지능형 종합관제시스템
 - 자원과 비용을 최소화 하는 고효율 생애주기 철도운영/유지보수 시스템
- 제3차 국가교통기술개발계획은 국가통합교통체계효율화법에 의거 향후 5년(2014~2018)간 교통기술의 연구개발을 촉진하기 위한 정부의 교통기술 관련 정책을 종합화하고 체계화하는 법정계획임.
 - 철도교통 기술의 문제점으로 철도의 안전성확보를 위한 기술개발 미흡 및 유지관리를 위한 검측시스템 수입 의존임.
 - 외국기술 의존 심화, 고장원인 분석과 해결지연으로 인한 운행 차질 초래 등 장기적인 관점에서 철도의 안정성 확보를 위한 근본적인 기술개발 미흡
 - 중점 추진과제로써 “빠르고 지능적인 철도”, “안전하고 편리한 철도”, “정확하고 경제적인 철도” 로 구분하고 있음.
 - 제4차 산업혁명으로 발전된 기술인 인공지능, 빅데이터 및 IoT 센서를 이용하여 유지보수를 효율화 및 고도화를 기술개발이 필요함.

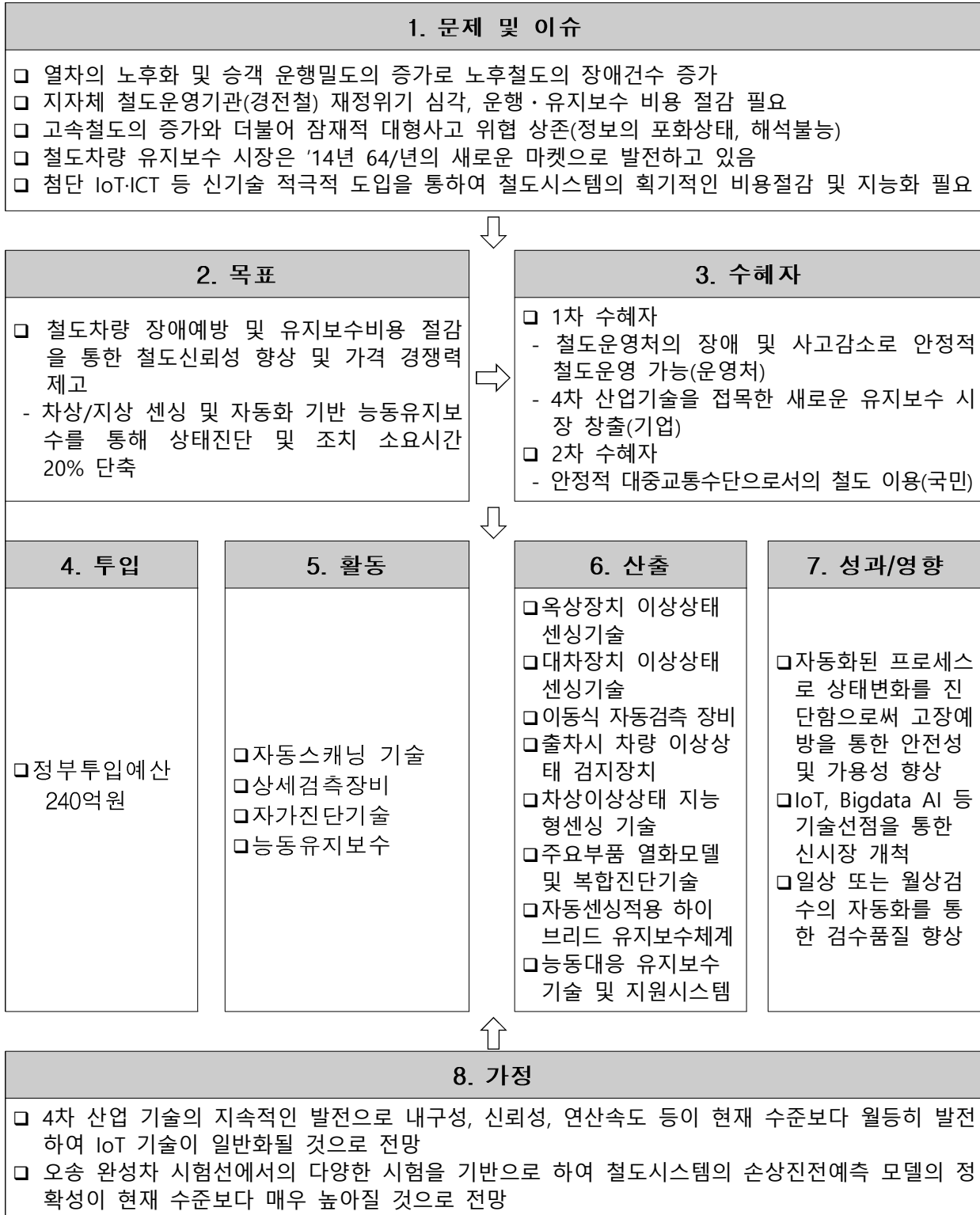
3. 정부추진정책의 기대효과

- **현 정부 국정운영 5개년 계획** : 지능형 자가진단 기반 능동유지보수 기술을 적용을 통하여 노후 인프라의 안전성 및 신뢰성을 개선함으로써 교통의 공공성을 단계적으로 강화할 수 있을 것으로 기대함
- **국가재정운용계획** : 능동유지보수 기술을 기반으로 예방중심의 안전체계 구축이 가능할 것으로 기대하며, 노후시설에 대한 과학적 시설관리를 충족할 수 있을 것으로 기대함
- **국토교통 연구개발 중장기전략** : 철도차량 및 인프라의 상태를 자동으로 실시간 모니터링 하고 진단 및 유지보수 할 수 있을 것으로 기대하며, 이를 통한 안전사고 예방이 가능할 것으로 기대함
- **제3차 국가교통기술 개발계획** : 국가 교통기술 개발계획인 “빠르고 지능적인 철도”, “안전하고 편리한 철도”, “정확하고 경제적인 철도” 에 부합할 수 있을 것으로 기대함
- **제3차 국가철도망 구축계획** : 국가철도망 구축계획의 목표인 미래철도의 수송분담율 증가, 시간단축 및 안전확보를 위한 기술개발이 가능할 것으로 판단되며, 이를 통해 열차운행 안전성 강화, 철도이용 편리성 강화 등이 달성될 수 있을 것으로 기대함

2절 기술적 타당성

1. 사업 논리모형

[표 4.2] 능동유지보수 사업 논리모형



2. 기획과정의 적절성

- 철도유지보수 작업은 철도자산의 신뢰성 있는 운영과 자산의 안정적인 운용을 위해 반드시 필요한 작업으로 오랜 기간의 축적된 경험과 관련 절차에 의해 수행되고 있음. 이러한 유지보수 작업은 대부분 인력에 의존하여 진행되어 왔으나, 최근 첨단과학기술의 발전에 힘입어 과거만큼 인력에 의존하지 않아도 센싱, 정보분석 및 평가 등이 가능하게 되었으며, 이에 따라 기존의 수동적인 유지관리에서 탈피하여 능동적인 유지관리의 형태가 가능하게 됨
- 본 기획은 이러한 기술추세에 발맞추어 첨단과학기술을 기반으로 한 능동유지보수 기술을 확보하기 위한 기획을 수행하였음. 유지보수 기술분야의 경우에는 현장의 오랜기간의 경험 및 체계가 이미 구축되어 있으므로 이를 기반으로 하여 인력에 의존하던 작업을 자동화하기 위한 방법에 대해 기획을 수행하였음. 이를 위하여 첨단 요소기술을 정의하고 이를 확보할 수 있는 전략을 수립하였으며, 현장에서 필요로 하는 기술개발요소를 발굴하기 위한 기술수요조사 및 각 분야의 전문가 자문을 통한 우선 추진순위를 결정하였음.
- 이를 기반으로 하여 전체적인 능동 유지보수기술의 방향 및 개발목표를 설정하였으며, 각 분야별 세부과제를 발굴하였음. 이러한 세부과제를 달성할 수 있도록 연차별 추진계획 및 방법을 기획하였으며, 세부 인력 및 예산 등 자원투입계획을 수립하였음
- 본 연구에서 능동유지보수 기술 개발과 관련된 국내외 기술개발동향 및 세부 요소기술별 기술수분에 대한 분석을 수행했으며, 기술개발 인프라, 세부기술의 중요도, 기술개발 성공가능성 등을 종합적으로 고려한 기술개발 로드맵이 체계적으로 수립되었음
- 기술개발 성공가능성을 향상시키기 위하여 기술개발 과정에서 직면하게 될 기술적 위험성을 사전에 분석하고 위험요인을 극복하기 위한 추진전략이 구체적이고 체계적으로 제시되어 있음

3. 연구목표의 적절성

□ 스마트센서기반 철도차량 자동센싱 기술개발

- 본 연구의 총괄목표는 자동스캐닝 기술, 상세검측 기술, 자가진단기술 및 능동유지보수 기술을 기반으로 한 “철도시스템 능동유지보수 기술개발”을 총괄목표로 설정하였음
- 철도시스템 능동유지보수 기술의 개발 목표는 최종적으로 철도시스템의 상태를 자동으로 측정하고 자동으로 분석한 다음 필요한 조치를 취하도록 함으로써 시스템의 신뢰성을 높이는 것에 있음
- 철도차량의 상태를 센싱하기 위한 기술은 크게 두 가지로 분류할 수 있음
 - 차량에 설치된 센서로부터 측정되는 철도차량의 주요 정보를 기반으로 차량의 상태를 모니터링 하는 기술

- 차량의 외부에서 차량 및 인프라의 상태를 측정함으로써 마모, 손상, 진동, 열화 등 이상상태를 모니터링 하는 기술
- 이러한 상태 측정은 현재와 같이 인력에 의존하지 않고 가능한 모든 부분을 자동화 함으로써 설치 초기에만 시스템의 이상유무를 측정하는 현재의 방식에서 벗어나, 상시로 시스템의 상태를 측정하는 것을 목표로 설정하였음
- 국외의 경우 GE의 Predix, Bombarier의 Orbita, Siemens MDS 등 자동화 시스템에 대한 연구 및 실용화 노력이 이루어지고 있음
- 현재 옥상장치 이상상태를 측정하는 방법은 CCD카메라를 이용하여 판토티그래프 상태를 감시하고 있으며, 공조기기 등 주요 옥상 기기의 감시에 대한 실용화 노력이 진행되고 있음. 최근 연구개발 된 옥상기기 검사장치의 개발목표는 모니터링 기능만 있어 별도의 기준이 없음
- 옥상장치 이상상태 센싱에 필요한 기술은 머신비전기술로서 최근 머신러닝과 딥러닝 기술을 응용한 방법들이 활발히 연구되고 있음. 비접촉 3D측정 정밀도는 적용 기술에 따라 측정속도(100 μ m)의 경우 0.8~20 초까지 차이가 있음.
- 현재 수행하고 있는 옥상장치 육안검사 시 사람의 육안검사 정밀도는 80% 로 알려져 있으며, 실제 옥상장치 이상상태를 진단하기 위하여 이상상태 진단 신뢰도가 중요하므로 현재 진행하고 있는 검사 정밀도보다 높은 90%를 개발 목표치로 설정하고 이를 달성하기 위한 최소 결함 검출 정밀도는 0.5 mm로 설정함

연구개발 목표	단위	세계최고수준	개발목표치	센싱항목	
옥상장치 이상상태 센싱 기술 개발	mm	육안검사 정밀도=80%, 최소 결함 검출 정밀도=0.25 mm	옥상장치 이상상태 진단 신뢰도=90%/ 최소결함검출 0.5mm	- 판토티그래프 외관 및 작동상태 - 습관체 상하부틀 외관상태 - 습관체 마모 및 손상상태 - 퓨즈함 커버 취부상태 - 주퓨즈 커버, 패킹, 단자조임 및 애지청소와 퓨즈용단 확인 - 냉방장치함 및 각종 기기함 상태	
대차장치 이상상태 센싱기술 개발	외관검사 (비전)	km/h	검사시 차량운행 속도=100 km/h	150 km/h	- 차체 및 실외설비 - 대차 및 주행장치
	축상베어링검사 (열화상, 지상진동)	℃	온도범위=-40 ~ 600℃ 온도분해능= ±1℃ 최대 열차운행 속도= 150 km/h	온도범위= -40 ~ 600℃ 온도분해능 =± 1℃ 최대 열차운행 속도=200 km/h	- 핫박스
	제동디스크 (비전, 열화상)	℃	온도범위=-40 ~ 55℃ 최대 열차운행 속도= 140 km/h	온도범위=-40 ~ 55℃ 최대 열차운행 속도=200 km/h	- 제동디스크 온도
	차륜손상	km/h, N	운행속도= 25	운행속도= 20 km/h 이상	- 차륜통과시 진동

연구개발 목표		단위	세계최고수준	개발목표치	센싱항목
	(진동, 광섬유)		km/h 이상 분해능= 50 N	분해능= 25 N	
이동식 차륜상세검사장비		mm	검사시간=3분/차륜 결함검출도=균열 깊이 1mm, 길이 5mm (Automated Train Wheel Inspection System, DB)	검사시간= 3분/차륜 결함검출도= 균열 깊이 1mm, 길이 3mm 검사정확도= 98%	차륜 내외부 결함 또는 결함형태 이미지화(차륜 교체주기, 피로 손상도 진단에 활용)
출차시 차량(측면,하부) 이상상태(머신비전) ⁹⁾		%	-	진단신뢰도 95% 이상	- 차체 및 실외설비 - 대차 및 주행장치

□ 차량 주요장치 자가상태진단 기술 및 유지보수지원 시스템 개발

- 차량 주요장치 자가상태진단 및 유지보수 지원 시스템 개발은 자동화된 센싱장치로부터 획득된 각종 센싱 데이터를 컴퓨터가 스스로 분류, 가공, 분석함으로써 유용한 상태정보를 추출하여 시스템이 스스로 상태를 진단하는 기술이며, 유지보수자원관리 시스템과 연계하여 가장 효율적으로 유지보수가 가능한 전략을 수립하는 기술임
- 자가상태진단 기술은 시스템이 인력에 의존하지 않고 스스로 데이터를 분석하고, 적절한 열화 및 손상모델을 기반으로 하여 향후 어떤 프로세스로 손상이 진행될 것으로 예측하고 이에 대응하는 유지보수를 수행하는 기술로 크게 데이터를 분석하여 유용한 정보를 추출하는 기술과 시스템의 상태가 어떻게 진행될지를 예측하는 손상예측모델 기술 두가지로 분류할 수 있음
 - 시간의 이력에 따라 들어오는 데이터를 처리하고 분석하여 유용한 정보를 추출하는 데이터 마이닝 기술
 - 철도시스템 및 주요장치가 시간에 따라 어떤 하중(힘, 열, 환경 등)을 받으며, 이에 따라 어떻게 시스템의 상태가 변해갈 것인지를 예측하는 모델
- 국외의 경우 유럽연합을 중심으로 다양한 공동연구가 이루어져 오고 있으며, 각각의 철도시스템에 대한 상세한 열화모델이 개발되고 있는 상태이며, 이 모델을 기반으로 한 예측결과는 이미 상당한 수준에 이르러 있음
- 본 연구의 목표는 각 기획과제에 속해 있는 세부 기술개발 과제별로 개발 목표가 설정되어 있으며, 과제별로 구체적으로 정의하여 적절하다고 판단됨
 - 본 연구의 목표는 세부 기술개발 과제별로 정의되어 있으며, 각 세부 과제별로 최종 개발기술의 산출물을 구체적으로 명시하였음

9) 김형인, KTX 고속차량 검수종료후 자동출고검사 프로시져 연구, 한국철도학회 학술발표대회논문집, 2009

- 차상주요장치 자가 진단시스템은 진단 신뢰도가 중요한 항목이므로, 현재 개발되고 있는 검사장치의 신뢰도(차륜형상 검사장치: 95%, 디스크라이닝 마모 검사장치: 95% 등)와 동등한 수준인 95%를 개발 목표치로 설정함

연구개발 목표	단위	세계최고수준	개발목표치	센싱항목
차상주요장치 자가진단 시스템	%	검사장치 신뢰도 95%	진단시스템 신뢰도 95%	- 모터 작동상태 (진동, 온도) - 축상 상태 (진동, 온도) - 구동장치 상태 (진동, 온도) - 대차 상태 (진동) - 차량 상태 (진동, 소음) - 제동장치 상태 (공기압,형상) - 차륜 상태 (진동, 소음)
차륜/제동장치/축상베어링 열화모델 및 복합진단시스템	%	주 행 속 도 =30-60km/h 손상검출 민감도 =98% (Track IQ)	주행속도= 30-60km/h 손상검출 민감도= 95%	- 차륜담면 손상 - 제동디스크 담면 손상 - 진동에 의한 베어링 열화 (파손 전 교체, 피로누적손상도에 따른 유지보수 주기에 활용)
하이브리드 유지보수체계(안)	-	-	자동화 기술 고려한 유지보수체계 수립	-
최적유지보수 지원시스템	-	-	최적유지보수 전략수립	-

4. 기술개발 성공가능성(기술 추세, 기술수준 분석)

가. 검토절차 및 방법

- 현재 전동차에 수행하고 있는 도착, 일상, 월상 검수항목을 단계별로 분석하여 수작업을 센서 및 자동화 장비로 대체할 수 있는지 검토하여 기술개발 성공가능성을 검토함
- 1단계에서는 차상 모니터링 및 지상 센싱으로 대체할 수 있는 검수항목을 분석
- 2단계에서는 센서로부터의 신호를 분석하여 대체할 수 있는 검수항목을 분석
- 3단계에서는 이동식 검측장비를 이용하여 검측을 수행할 수 있는 검수항목을 분석
- 전동차 경정비 검사¹⁰⁾는 전동차가 차량기지에 입고되면 전동차에 공급되는 전기를 차단 하면서 시작되며, 운전실 및 실내(객실), 상하기기 장치와 제동 및 대차장치, 옥상장치 등으로 구분됨. 주요작업은 차량 운행시에 발생하는 진동을 줄이고 약화시키기 위한 완충기 역할을 하는 오일댐퍼의 점검과 교환, 주행중인 전동차를 멈출 때 사용되는 브레이크 슈의 점검과 교환, 차량의 출입문 브레이크 작용 등 차량 운행에 있어서 필요한 공기를 만드는 주공기 압축장치 점검 및 오일과 필터 교환, 판토품의 애자 청소 및 마모 확인, 대차부분 에어청소작업, 객실 통로문 점검 및 교체작업, 판토품의 상승과 하강을 원활하게 하도록 지원하는 주 실린더 점검 작업 등이 있음

10) 출처: 서울지하철 전동차 정비 외주화의 문제점과 직영화 필요성, 사회공공연구원, 2016

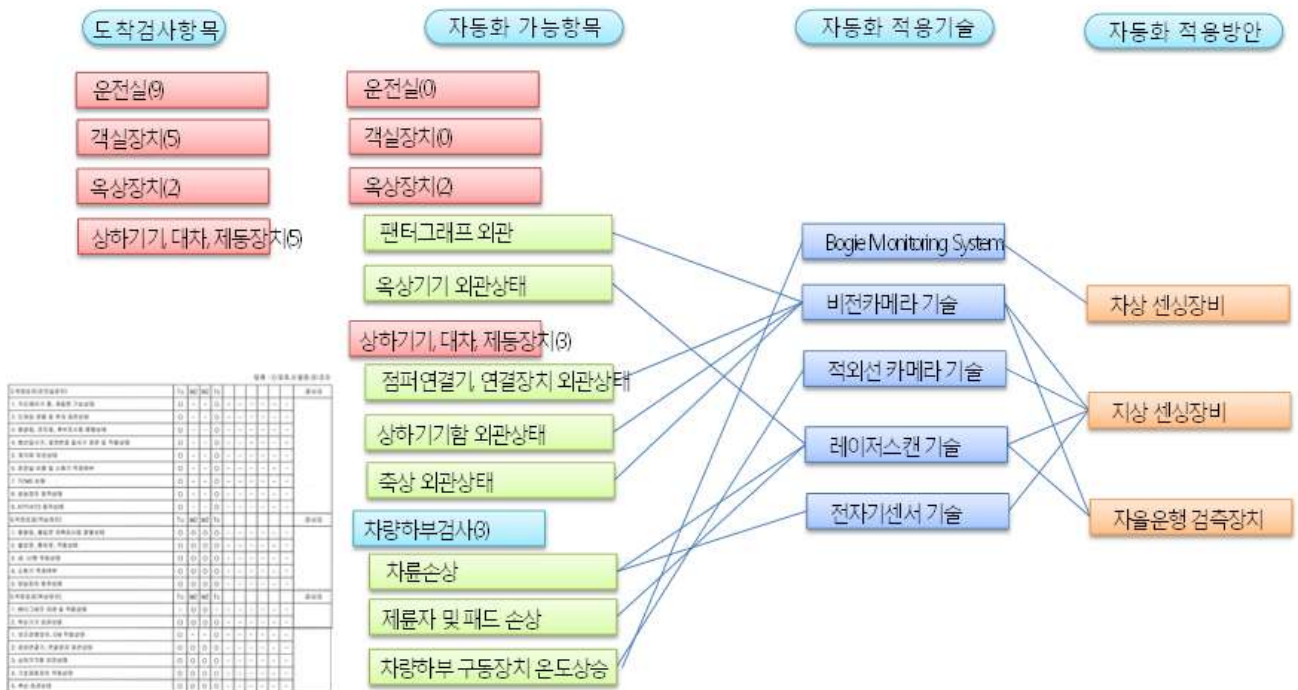


[그림 4.2] 도착검사항목 및 자동화 가능기술 분류

나. 검토결과

- 철도차량은 안전확보를 위하여 도착 및 일상검사, 월상검사, 중간검사 및 전반검사로 구분된다. 여기서 중감검사 및 전반검사는 2년에서 6년 사이에 시행하는 검사로써 차량 전체를 분해검사, 교체 및 시험 등을 실시하는 것이다.
- 도착 및 일상검사, 월상검사는 차량을 분해하지 않고 주요부품의 상태 및 기능을 점검하는 것으로 많은 인력을 필요로 한다. 특히, 일상검사를 시행하는데 소요되는 인공은 차종별로 차이는 있지만 차량정비인력의 약 50%를 차지한다.
- 표는 전동차의 입고 시 점검하는 항목을 나타낸 것으로 주요부품의 상태 및 기능을 점검하는 것으로 주로 육안 검사에 의존하고 있다. 점검하는 장소는 크게 차량의 내부와 외부로 나뉠 수 있다. 차량의 내부는 운전실장치와 객실장치를 검사하는 것이고, 외부는 팬터그래프 등의 옥상장치와 대차와 제동장치 등의 하부기기를 점검하는 것이다. 외부장치를 검사하는 것은 내부장치를 검사하는 것에 비하여 2배 이상의 시간이 소요된다.


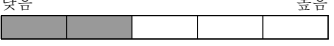





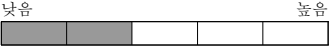

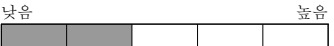






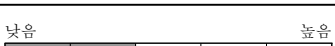
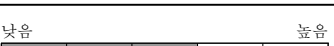


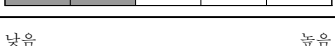
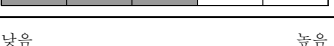




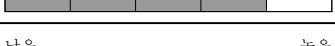
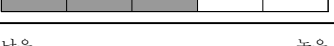


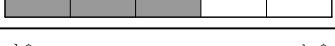
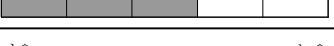


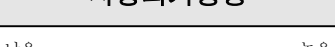
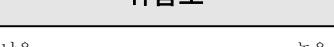
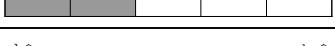
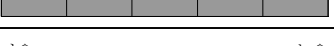
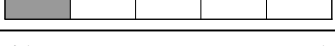

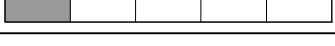

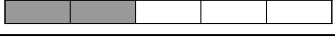

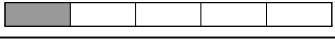

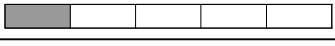

- 검사위치로 인하여 검사가 어렵고 시간이 많이 소요되는 외부장치의 검사를 자동화하기 위한 기술은 그림과 같이 크게 5가지로 구분 할 수 있다. 주행 중 차량의 주요부품의 상태를 평가위한 대차 모니터링 시스템, 주요부품의 외관을 검사하기 위한 비전카메라 기술, 축상 및 구동장치의 온도 상승등을 검사하기 위한 적외선 카메라 기술, 주요부품의 마모상태를 검사하기 위한 레이저 스캔기술, 차륜의 손상을 평가하기 위한 전자기 센서 기술 등이 있다.
- 차량의 상태를 평가하기 위한 첨단 센서 기술과 측정된 데이터 뿐 만아니라 운행정보, 검수데이터 등의 복합 물리량을 분석하여 주요부품의 상태진단 및 향후 잔존수명의 정확한 예측이 가능하다.
- 도착검사의 경우에는 그림과 같이 옥상장치, 상하기기 및 대차장치에서 8개 항목을 자동화 시킬 수 있다. 따라서 도착검사의 21개 항목 중에서 8개 항목을 자동화 하면 기존 대비 38%를 단축 할 수 있다.
- 일상검사의 경우에는 그림과 같이 5가지의 기술을 이용하면 옥상장치, 상하기기 및 대차 장치에서 50개 항목을 자동화 시킬 수 있다. 이는 일상검수 121개 항목 중에서 41%를 단축 할 수 있다.
- 월상검사의 경우에는 그림과 같이 5가지의 기술을 이용하면 옥상장치, 상하기기 및 대차 장치에서 61개 항목을 자동화 시킬 수 있다. 이는 월상검수 158개 항목 중에서 39%를 단축 할 수 있다.

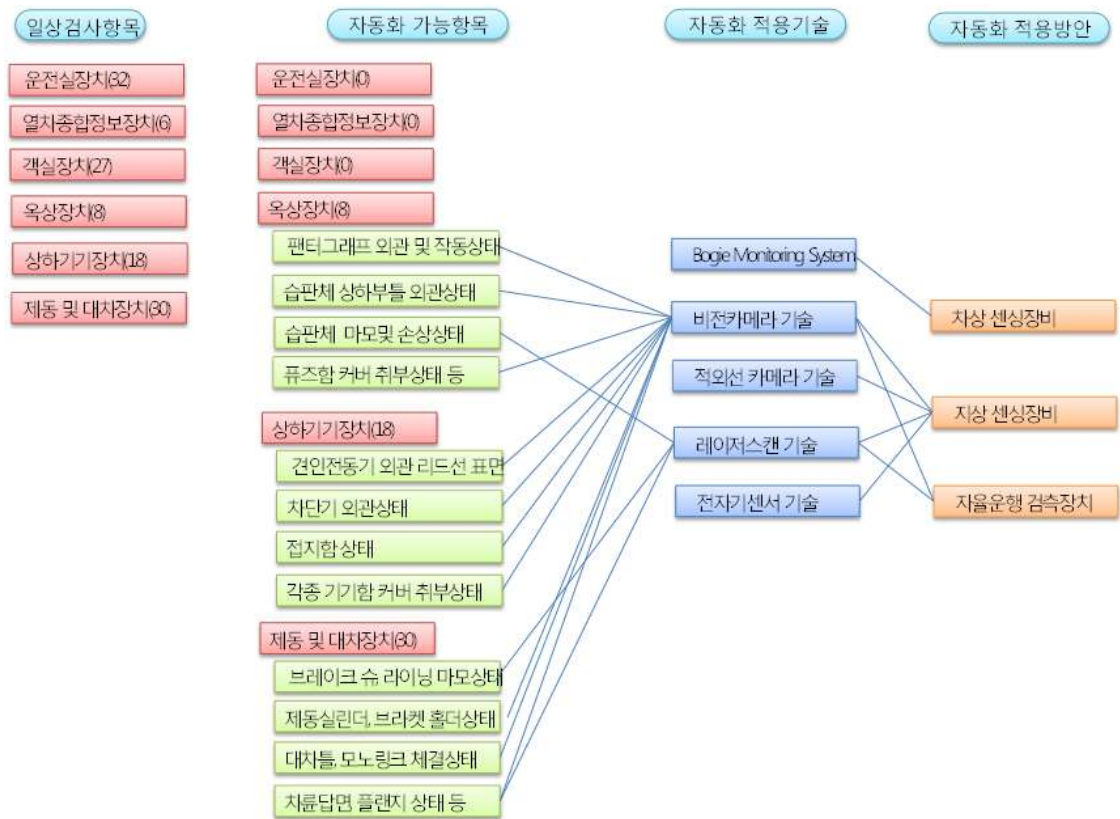


[그림 4.3] 도착검사항목 : 자동화 적용기술 및 적용방안

[표 4.4] 전동차 검수 일상 검사표

일상검사표(운전실장치)	자동화가능성	위험도
1. 주간제어기 쏘정 및 핸들의 기계적 연동 작용상태	낮음 높음	낮음 높음
2. TCMS 상 P4, B7, N단의 PWM 확인	낮음 높음	낮음 높음
3. TCMS에 의한 일상검사모드 동작시험	낮음 높음	낮음 높음
4. 출입문 개폐장치, 재개폐스위치 작동 및 도어등 점멸상태	낮음 높음	낮음 높음
5. 각종 NFB류 정위치 및 배전반 커버 쏘정상태	낮음 높음	낮음 높음
6. 전조등 단계별 작동상태	낮음 높음	낮음 높음
7. 각종 등구류 점멸상태	낮음 높음	낮음 높음
8. 각종 스위치류 기능상태	낮음 높음	낮음 높음
9. 각종 커버류 정위치 상태	낮음 높음	낮음 높음
10. 부저 작동상태	낮음 높음	낮음 높음
11. 전자기적 스위치 및 작동상태	낮음 높음	낮음 높음
12. 운전실 의자 외관상태 및 작동상태	낮음 높음	낮음 높음
13. 운전실 출입문 외관 및 작동상태	낮음 높음	낮음 높음
14. 전면, 측창문, 운객출입문 유리의 균열 및 취부상태	낮음 높음	낮음 높음
15. 운객출입문 커튼, 전면 햇빛가리개 상태	낮음 높음	낮음 높음
16. 비상출입문, 비상사다리 외관상태	낮음 높음	낮음 높음
17. 창닫이 블레이드, 암보스 외관 및 작동상태	낮음 높음	낮음 높음
18. 살수장치 작동 및 와셔액 상태	낮음 높음	낮음 높음
19. 송풍기 회전 및 수진상태	낮음 높음	낮음 높음
20. 소화기 적재상태	낮음 높음	낮음 높음
21. 비상용품함 내 내용품(공기호흡기 등) 보관상태	낮음 높음	낮음 높음
22. 무선신호 분배기 LED 점등상태	낮음 높음	낮음 높음
23. 시각표 꽃이 상태	낮음 높음	낮음 높음
24. 행선표시기, 열차번호표시기 작동 및 현시상태	낮음 높음	낮음 높음

12. 송풍기 회전 및 수진상태	낮음  높음	낮음  높음
13. 마이컴 작동상태(하절기:냉방 / 동절기:난방)	낮음  높음	낮음  높음
14. 배기팬 작동상태(54량, 340량 해당)	낮음  높음	낮음  높음
15. 소화기 적재상태	낮음  높음	낮음  높음
16. 노선도 및 각종 안내명판 부착상태	낮음  높음	낮음  높음
17. 객실비상통화장치 마이크 정위치 및 커버상태	낮음  높음	낮음  높음
18. 화재감지기 LED 점멸상태 및 CO2 감지기 취부상태	낮음  높음	낮음  높음
19. 화재 발신기 전원가압 및 LED 점등상태	낮음  높음	낮음  높음
20. 객실안내 표시기 현시상태 및 출입문 방향표시등 동작상태	낮음  높음	낮음  높음
21. 측면 행선표시기 외관 및 작동상태	낮음  높음	낮음  높음
22. 노선표시기 외관 및 작동상태	낮음  높음	낮음  높음
23. 운전실간/차내외 방송감도 상태	낮음  높음	낮음  높음
24. 비상통화장치 마이크 정위치 및 커버상태	낮음  높음	낮음  높음
25. LCD 객실안내 표시기 외관 및 작동상태	낮음  높음	낮음  높음
26. 전자식 노선도 외관 및 작동상태	낮음  높음	낮음  높음
27. 행선표시기(전면 및 측면) 외관 및 작동상태	낮음  높음	낮음  높음
일상검사표(육상장치)	자동화가능성	위험도
1. 팬터그래프 외관 및 작동상태	낮음  높음	낮음  높음
2. 습판체, 상하부틀 외관상태	낮음  높음	낮음  높음
3. 습판, 프로텍터, 고체윤활제 마모 및 손상상태	낮음  높음	낮음  높음
4. 편동선 단선상태	낮음  높음	낮음  높음
5. 퓨즈함 커버 취부상태	낮음  높음	낮음  높음
6. 피뢰기 및 각종 애자류 외관상태	낮음  높음	낮음  높음
7. 냉방장치함 취부상태 및 응결수 배수상태	낮음  높음	낮음  높음
8. 차체지붕 외관상태	낮음  높음	낮음  높음



[그림 4.4] 일상검사항목 : 자동화 적용기술 및 적용방안

[표 4.5] 전동차 검수 월상 검사표

월상검사표(운전실장치)	자동화가능성	위험도
1. 주간제어기 쇄정 및 핸들의 기계적 연동작용상태	낮음 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 높음	낮음 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 높음
2. 주간제어기 내부단자, 배선 등의 검사, 주유 및 청소(6개월)	낮음 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 높음	낮음 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 높음
3. Deadman 기능상태 및 핸들조작의 이상유무	낮음 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 높음	낮음 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 높음
4. TCMS상 P4, B7, N단의 PWM 확인 및 엔코더 기판청고	낮음 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 높음	낮음 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 높음
5. TCMS에 의한 월상검사모드 자기진단 확인	낮음 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 높음	낮음 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 높음
6. 계기류 외관 및 “0” 점 조정상태	낮음 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 높음	낮음 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 높음
7. 도어등 및 계기등 점멸여부와 TCMS 출입문 현시상태	낮음 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 높음	낮음 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 높음
8. 보조공기압축기 동작시 표기등 점등상태	낮음 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 높음	낮음 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 높음





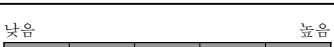
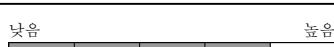
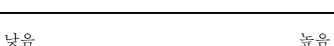
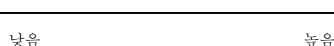


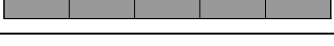
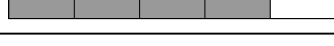






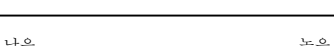
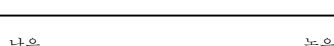
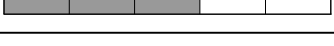
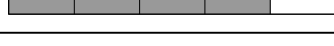








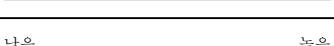
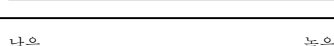




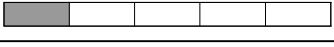

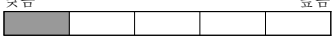

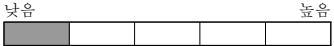



9. 출입문 개폐스위치(CRS) 작동상태	낮음 높음	낮음 높음
10. 출입문 재개폐스위치(DROS) 작동상태	낮음 높음	낮음 높음
11. 배전반 외관 및 커버 쇄정상태	낮음 높음	낮음 높음
12. 배전반 내 각종 기기류 및 단자대 배선, 단자, 나사류 조임상태	낮음 높음	낮음 높음
13. 운전실 판넬류 단자 및 커넥터 이완여부	낮음 높음	낮음 높음
14. 회로차단기(NFB) 상태 및 정위치 여부	낮음 높음	낮음 높음
15. 스위치류(비상제동완해, EpanDS, 조명, 고장, 냉난방등) 기능 및 정위치 상태	낮음 높음	낮음 높음
16. 라인데리어 작동(회전, 수진) 및 이음상태	낮음 높음	낮음 높음
17. 전조등 감광스위치 외관 및 작동상태	낮음 높음	낮음 높음
18. 전조등, 후미등, 기타 등구류 점멸상태	낮음 높음	낮음 높음
19. 제상기, 창닫이 작동상태 및 블레이드, 암보스상태	낮음 높음	낮음 높음
20. 살수장치 노즐, 조절밸브 상태 및 작동상태(워셔액 보충)	낮음 높음	낮음 높음
21. 승무원 연락부저 및 전자기적 스위치와 작동상태	1 낮음 높음	낮음 높음
22. 브레이크 변환장치(BTD) LED점등 및 커넥터 상태	낮음 높음	낮음 높음
23. 창문, 유리, 출입문류(비상, 운객 등)외관 및 각종 로크, 도어캐처, 경첩, 방풍고무, 잠금장치 상태와 작동상태	낮음 높음	낮음 높음
24. 운전실 의자 안장, 등받이 외관 및 작동상태	낮음 높음	낮음 높음
25. 커튼, 햇빛가리개, 시각표꽃이 상태	낮음 높음	낮음 높음
26. DU 화면상 화재 LED 점등상태	낮음 높음	낮음 높음
27. DU 화면상 온도현시 상태	낮음 높음	낮음 높음
28. 소화기 안전핀, 손잡이, 호스, 봉인상태 및 약제 응고여부	낮음 높음	낮음 높음
29. 비상사다리, 폐색막, 들것 훼손여부 및 보관상태	낮음 높음	낮음 높음
30. 손전등과 메가폰 작동 및 보관상태	낮음 높음	낮음 높음

31. 비상용품함 내 내용물 보관상태 및 훼손여부	낮음 높음	낮음 높음
32. 각종 명판 및 안내표지판, 안전필름 부착상태	낮음 높음	낮음 높음
33. 각종 커버류 쇄정상태	낮음 높음	낮음 높음
34. 공기호흡기 압력계 지시(충기)상태	낮음 높음	낮음 높음
35. 공기호흡기 마스크 청결 및 보관상태	낮음 높음	낮음 높음
36. 행선표시기 작동 및 내부 청결상태	낮음 높음	낮음 높음
37. 열차번호표시기 작동 및 내부 청결상태	낮음 높음	낮음 높음
38. 객실안내표시기 로컬제어기의 상태표시등 점멸확인	낮음 높음	낮음 높음
39. 멀티부저 커넥터 접속 및 작동상태	낮음 높음	낮음 높음
월상검사표(객실장치)	자동화가능성	위험도
1. 출입문 외관, 작동상태(개폐속도, 이음 등) 및 청소	낮음 높음	낮음 높음
2. 출입문 차단, 비상해제장치 상태 및 청소	낮음 높음	낮음 높음
3. 출입문 앤드스톱, 포크 어셈블리 상태	낮음 높음	낮음 높음
4. 출입문 DCS, DLS, 행잉디바이스 외관상태	낮음 높음	낮음 높음
5. 출입문 하부레일, 포켓, 배수구 상태	낮음 높음	낮음 높음
6. 객실통로문 각 부품 이상여부 및 개폐상태 확인(전기식)	낮음 높음	낮음 높음
7. (전기식)객실통로문 외관, 각 부품의 이상 및 작동상태	낮음 높음	낮음 높음
8. 배전반(일반, 냉난방)내 각종 기기류 및 단자대 배선, 단자, 나사류 조임상태	낮음 높음	낮음 높음
9. 배전반(일반, 냉난방)내 회로차단기, 스위치류 상태 및 정위치 여부	낮음 높음	낮음 높음
10. 배전반 외관 및 쇄정장치 기능상태	낮음 높음	낮음 높음
11. 차측등 점멸 및 커버상태	낮음 높음	낮음 높음
12. 냉난방 마이콤 커넥터 접속, 표시등 점등 및 작동상태	낮음 높음	낮음 높음
13. 라인데리어 작동(회전, 수진) 및 이음상태	낮음 높음	낮음 높음

14. 객실온도감지기 취부상태	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>
15. 배기팬 작동상태 (2호선 54량, 2호선)	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>
16. 비상통화장치 통화가능표시등 점등, 마이크 정위치 및 통화상태	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>
월상검사표(옥상장치)	자동화가능성	위험도
1. 팬터그래프 외관 및 작동상태(상승, 하강시간 및 압상력 적정여부)	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>
2. 습판체 상하부틀의 타흔, 변형 등 손상상태	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>
3. 주습판, 보조습판, 프로텍터, 고체윤활제의 마모 및 손상상태	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>
4. 팬터그래프 편동선, 스프링, 벨로우즈 상태	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>
5. 팬터그래프 힌지부, 부시상태	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>
6. 주퓨즈 커버, 패킹, 단자조임 및 애자청소와 퓨즈용단 확인	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>
7. 냉방장치함 및 각종 기기함 상태	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>
8. 전선 및 공기배관 상태	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>
월상검사표(열차종합제어장치)	자동화가능성	위험도
1. TCMS 각종 카드류 외관 및 취부상태	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>
2. TCMS 유니트 커넥터 접속 및 LED 점등상태	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>
3. 편성제어 컴퓨터(TC) 커넥터, 플러그 및 핀 오염상태	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>
4. 편성제어 컴퓨터(CC) 커넥터, 플러그 및 핀 오염상태	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>
5. 운전자 화면장치(DU) 커넥터, 플러그 및 화면표시 성능상태	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>
6. 무선전송장치(RTD) 외관 및 Console, Receptacle 커넥터 상태	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>
7. 운영모드상 운전모드 자동전환 상태	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>
8. 운전모드상 각종기기 작동 현시상태	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>
9. 운전모드/검수모드 상호전환 상태	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>
10. 검수모드상 정보별 상호전환 상태	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>

11. 검수모드상 각종 기능 및 기록정보 현시상태	낮음 높음	낮음 높음
12. 검사정보 및 고장정보 저장상태	낮음 높음	낮음 높음
13. 각종 설정정보 적정 선택여부	낮음 높음	낮음 높음
월상검사표(회전기장치)	자동화가능성	위험도
1. 견인전동기 외관 및 취부상태	낮음 높음	낮음 높음
2. 견인전동기 입출력 전선 표면 및 접속상태	낮음 높음	낮음 높음
3. 견인전동기 베어링 누유검사	낮음 높음	낮음 높음
4. 견인전동기 속도센서 케이블, 커넥터 손상 및 조임상태	낮음 높음	낮음 높음
5. 견인전동기 에어 인넷트 상태	낮음 높음	낮음 높음
6. 주공기압축기 외관, 기동상태 및 누유/누기 상태	낮음 높음	낮음 높음
7. 주공기압축기 진공표시기 점검 및 공기충기시간 적정여부	낮음 높음	낮음 높음
8. 주공기압축기 공기/기름 냉각기 상태 및 외부청소	낮음 높음	낮음 높음
9. 주공기압축기 온도조절밸브 및 배기밸브, 배기전자밸브 작동상태	낮음 높음	낮음 높음
10. 주공기압축기 방진고무 상태	낮음 높음	낮음 높음
11. 주공기압축기 기동장치내 배선, 단자연결, 계전기, 접촉기 및 전자판넬류, 전력반도체, 리액터 상태	낮음 높음	낮음 높음
12. 보조공기압축기 작동 및 공기충기시간 적정여부	낮음 높음	낮음 높음
13. 보조공기압축기 정류자면, 브러쉬 상태 및 회전시 정류자 불꽃 발생상태	낮음 높음	낮음 높음
14. 보조공기압축기 윤활유 레벨점검 및 교환(교환기준 : 전동차검사 시행요령 참조)	낮음 높음	낮음 높음
15. 각종 공기압력스위치 배관접속 및 스위치 접점상태	낮음 높음	낮음 높음
16. 공기건조기 타이머, 전자밸브, 각종 스프링 및 히터점검	낮음 높음	낮음 높음
17. 자동배수변 작동상태	낮음 높음	낮음 높음
18. 접지브러쉬 외관, 배선, 단자조임 및 브러쉬 길이, 리드선, 스프링 상태	낮음 높음	낮음 높음
월상검사표(제어장치)	자동화가능성	위험도

1. 인버터 외관 및 커버 패킹고무 상태	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>
2. 인버터함내 카드류, 케이블, 커넥터 취부상태	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>
3. 인버터 냉각핀 상태	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>
4. 전원필터장치(PFU) 접촉기/릴레이 및 단자 체결상태	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>
5. PEM 및 Filter Capacitor 전선손상여부 및 외관상태	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>
6. 필터리액터 리드선, 각부 나사상태 및 흡입구 청결상태	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>
7. 필터리액터 Blower 외관, 커버 및 각부 나사조임 상태	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>
8. 차단기함 외관, 커버 패킹변형 및 내부기기 청소	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>
9. 차단기함내 기기류의 변형, 절연체 변색, 저항, 전선 손상여부 및 볼트조임 상태	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>
10. 고속도차단기(HB) 취부 및 주접촉부, 보조접점 변형 및 상태	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>
11. 선로차단기(LB) 취부 및 보조접점, 통전부의 나사류 상태	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>
12. 고속도차단기(HB)와 선로차단기(LB)의 아크슈트 취부상태 및 손상여부	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>
13. SIV함, 개스킷의 외관 및 잠금상태	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>
14. SIV 배선, 단자, 커넥터 취부상태 및 스위치류 정위치 여부	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>
15. SIV 변압기 및 콘덴서 외관상태	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>
16. SIV 인버터, 초퍼 및 제어유니트 외관상태	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>
17. SIV 접촉기 및 저항기류 상태	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>
18. IVS함내 통전부와 마이크로 스위치 및 LED상태(3호선 해당)	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>
19. 주회로분리기함 외관 및 잠금장치 상태	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>
20. 주회로분리기 단자부 결손, 손상, 변형, 회로 단락상태	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>
21. 주회로분리기 마이크로 스위치 상태	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>
22. 연장급전 통전부위 및 기기취부 나사의 이완여부	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 낮음 높음 </div>

23. 연장급전 접촉기 점검 및 작동상태	낮음  높음	낮음  높음
24. 축전지함 외관, 배선연결바 및 단자조임 상태	낮음  높음	낮음  높음
25. 축전지 액위 점검 및 증류수 보충	낮음  높음	낮음  높음
26. 축전지 부하전압 측정	낮음  높음	낮음  높음
27. 축전지 비중 및 전압측증(측정부기 : 1Y)	낮음  높음	낮음  높음
28. 축전지 축전제어함(BCB) 외관, 배선, 단자조임 및 절연부 변색 등 손상상태	낮음  높음	낮음  높음
29. 축전지 충전제어함(BCB)내 접촉기, 퓨즈 등 기기류 상태	낮음  높음	낮음  높음
30. 축전지 및 제어 Box 외관, 배선, 단자대 및 커넥터 조임상태(LiPB)	낮음  높음	낮음  높음
31. 축전지 모듈, 메인 스위치, 다이오드 및 저항 외관상태 (LiPB)	낮음  높음	낮음  높음
32. 표시장치 외관 및 표시상태(LiPB)	낮음  높음	낮음  높음
33. 축전지 및 모듈 부하전압, 전류 및 온도 확인(LiPB)	낮음  높음	낮음  높음
34. LTEJB 및 점퍼 커넥터 외관, 배선, 체결상태	낮음  높음	낮음  높음
35. 고압접지단자함(HTEB) 외관, 단자부 조임상태 및 변색등 손상여부	낮음  높음	낮음  높음
36. 판넬류, 퓨즈류 상태	낮음  높음	낮음  높음
월상검사표(대차 및 제동장치)	자동화가능성	위험도
1. 대차프레임장치 외관상태	낮음  높음	낮음  높음
2. 모노링크 외관상태	낮음  높음	낮음  높음
3. 차륜의 외경, 답면 및 플랜지 상태	낮음  높음	낮음  높음
4. 차축, 축상 상태	낮음  높음	낮음  높음
5. 드라이빙 기어행거 양 끝단 체결상태	낮음  높음	낮음  높음
6. 대차브래킷과 Safety Nose와의 간섭 발생여부	낮음  높음	낮음  높음
7. 기어커플링 연결상태, 그리스 누유 및 체결볼트의 이완여부	낮음  높음	낮음  높음
8. 1차 현수장치 외관 및 코니컬 스프링 상태	낮음  높음	낮음  높음

9. 공기스프링 외관 및 취부높이 상면판과 스프링시트의 불일치 등 각부의 변형상태		
10. 공기스프링 다이어프램의 오염상태 및 다이어프램과 상하면판 간의 먼지청소		
11. 공기스프링 비상스프링부의 금속부 휨, 크랙 및 고무와 금속부의 접착상태		
12. 레벨링밸브, 차압변 외관 및 누기여부		
13. 자동연결기 MRCS 및 UOS 자동해방 작동시험		
14. 기초제동장치 제동 행정 및 제동, 완해 작동상태		
15. 기초제동장치, 브레이크실린더, 라이닝홀더 상태		
16. 브레이크 디스크 손상 및 마모상태		
17. 제동전자제어 유닛(ECU) 커넥터 접속 및 작동상태		
18. 공기제동장치 내 각종 기기류 외관 및 작동상태		
19. 주차제동장치 작동상태		
20. 속도검출기 취부상태		
21. 압력스위치 함 내 기기류 외관 및 커넥터 접속상태		
22. 전자변류(보안, 주차제동 등)외관 및 작동상태		
23. 오버플로우밸브 외관 및 작동상태		
24. 활주방지변 외관 및 작동상태		
25. 팬터그래프 컨트롤밸브 외관 및 작동상태		
26. 공기압력스위치 상태		
27. 제동저항기(DBRe) 단자연차, 인입배선 및 오염상태		
28. 밀착연결기 작동상태(전, 후), 높이측정 및 저종(880±10), 전기연결기 점검		



[그림 4.5] 월상검사항목 : 자동화 적용기술 및 적용방안

5. 기존 사업과의 중복성

□ 자동센싱 기술을 적용한 유지보수

- 능동유지보수에 활용 가능한 대표적인 자동센싱 기술은 구조물의 영상기반 안전 진단에 활용되고 있는 머신비전 기술, 온도를 계측하여 이상을 진단하는 적외선 열화상 기술, 차륜의 균열을 탐지할 수 있는 비파괴 검사기술, 비접촉으로 물체의 치수를 측정할 수 있는 레이저 스캔 기술, 선로변에서 소음 또는 진동을 이용한 차량 상태 모니터링 기술 등이 있음
- 현재 머신비전 기술은 결함검사, 분류, 인식 등의 응용분야에서 사람이 할 수 있는 검사를 대신하여 고정밀의 검사를 수행할 수 있도록 머신러닝 기술을 적용하여 개발되고 있으며, 제조 공정상에 발생하는 제품의 결함검출, 용접 방사선 사진을 이용한 용접부 균열 및 결함 검출, 머신러닝을 적용한 의료 영상기반 진단 등 여러 분야에 활발하게 적용하고 있음. 이와 같은 머신러닝 기반 머신비전 기술을 철도차량 유지보수에 활용할 경우 옥상장치 및 대차프레임, 회전기기 장치 등의 외관 및 취부상태를 검사하는 일상 및 월상검수의 외관검사 항목에 대하여 사람을 대신하여 고정도로 검사를 수행할 수 있을 뿐만 아니라 유지보수 시간을 단축할 수 있으므로 효율 및 품질을 높일 수 있음
- 적외선 열화상 기술은 적외선 카메라를 이용하여 물체의 표면에서 복사되는 열에너지를 검출하여 구조물의 온도분포를 분석하는 기술로서, 물리적 접촉이 없고, 미세한 열화상을 감지할 수 있을 뿐만 아니라 실시간 응답이 빠르다는 특징이 있어 빠르게 적용분야가 확대되고 있음. 적외선 열화상 기술을 활용하여 구조물의 결함, 크랙, 열화 상태, 전기선 연결 상태, 접합부 계면 분리 등 다양한 상태를 평가 할 수 있으며, 철도 차량 유지보수에서는 축상 온도 모니터링, 차량 하부 이상발열 모니터링 등에 적용할 수 있음
- 차륜 비파괴 검사기술은 전자기센서 또는 전자기 유도 초음파를 활용한 차륜 표면 손상 검지, 고감도 진동가속도계에 의한 차륜속도, 진동, 이상 및 충격을 검지하여 차륜의 찰상 검지, 초음파를 이용한 차륜 내부 균열 및 결함 검지 등이 적용되고 있음
- 이동식 자동검측기술은 이동 가능한 로봇기술을 기반으로 하여 유지보수에 필요한 검측을 자동화하기 위한 기술로서, 배관, 송전선, 자동차 등의 분야에서는 실용적 수준까지 완성된 상태임. 고성능의 로봇기술과 첨단 센싱시스템(비전, 레이저 측정 등)을 활용할 경우 수작업에 의존하던 검수작업을 로봇으로 일부 대체가 가능함
- 철도차량 운행시 주요부품의 결함을 상시 감시하고 원격으로 제어할 수 있는 기술, 운행 구간 내 주요 시설물을 실시간으로 감시하고 제어할 수 있는 기술 등 시설물과 차량의 이상상태를 자동 센싱하는 기술 개발이 필수적임
- 자동센싱 기술을 적용한 철도차량 유지보수 기술개발에 필요한 세부 기술은 각 분야에서 활발히 연구되고 있으며 일부는 실용화되어 산업 현장에 적용되고 있음. 이와 같이 실효성 있는 기술을 철도 차량 유지보수 분야에 업그레이드 화하여 적용하고 문제점을 보완한다면 유지보수 첨단화에 실효성이 매우 높을 것으로 판단됨

세부과제명		기존 연구과제(최상위 과제명)			검토결과	
과제명	주요내용	과제명	주요내용	연구기관 (연구기간)	차별성	연계방안
스마트 센서기 반 철 도차량 자동센 싱 기 술개발	<ul style="list-style-type: none"> •옥상장치 이상상태 센싱기술 개발 •대차장치 이상상태 센싱기술 개발 •이동식 자동검측 장비 개발 •출차시 차량 이상상태 검지장치 개발 	철도시스템 건전성 모니터링 기초연구	<ul style="list-style-type: none"> •적외선 열화상기술을 이용한 철도차량 건전성평가기술 개발 •무전원 SAW 센서를 이용한 철도차량 이상상태 실시간 모니터링 기술개발 •Opto-Laser 터널 스캐닝 시스템 핵심 기술 개발 •광섬유 센서를 이용한 철도구조 모니터링 기술 개발 	철도기술연구원 (2009-2011)	<ul style="list-style-type: none"> •대상과제는 원천기술 개발이 목적이었으며, 본 과제는 실제 정비기지에서 실용적으로 사용할 수 있는 기술 개발 •실제 차륜 및 제륜 자등의 검수를 자동화하기 위한 목표를 가지고 연구수행 	<ul style="list-style-type: none"> •적외선 열화상 기술을 기반으로 하여 구동부의 이상상태 검지 •레이저 스캐닝 기술을 바탕으로 자동차수측정 기술 개발에 활용
		철도차량 검수고 자동 검사장치 고도화	<ul style="list-style-type: none"> •판타그래프 검사장치 •옥상기기 검사장치 •차륜찰상 검사장치 •차륜형상 검사장치 •제륜자 마모 검사장치 •디스크라이닝마모 검사장치 •측정 및 분석시스템 	에코마이스터 (2011-2014)	<ul style="list-style-type: none"> •장비개발 뿐만 아니라 차량 지상 모니터링 및 유지보수체계 개편을 통한 자동화 기술 적용방안 마련 	<ul style="list-style-type: none"> •고도의 검측기술을 적용하여 장비의 신뢰도 향상
		철도차량 핵심부품 진단 및 고장예지 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> •부품이력관리 자동화 기술개발 •차상기반실시간 진단기술개발 •지상방식 차륜 및 베어링 검사평가 기술개발 •부품 건전성 관리 기술개발 	철도공사 (2014-2019)	<ul style="list-style-type: none"> •차륜의 찰상 및 차축베어링의 이상상태 검지 및 예지하는 기술을 수행하나, 대상과제는 차체 및 대차의 외관상태, 브레이크 패드 마모 등 수작업에 의존하는 일상, 월상검수의 자동화를 목적으로 함 	<ul style="list-style-type: none"> •차륜 및 차축베어링에 대한 고장 검사 및 예지 기술은 대상과제의 다른 부품에 적용시 연계가 가능함.
		철도차량 하부 핵심부품 무분해 비파괴	<ul style="list-style-type: none"> •적외선 열화상기술을 이용한 하부 부품 이상 검사 시스템 구축 	철도기술연구원 (2012-2013)	<ul style="list-style-type: none"> •비파괴 진단을 수행한다는 관점에서는 유사하나 유지보수 시간 단축을 위한 목적 및 대상장치는 	<ul style="list-style-type: none"> •차륜, 제륜자, 차량외관 등 유지보수 수행

세부과제명		기존 연구과제(최상위 과제명)			검토결과	
과제명	주요내용	과제명	주요내용	연구기관 (연구기간)	차별성	연계방안
		진단기술 구축 및 검증기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> 음향홀로그래피를 이용한 하부 부품 이상 상태평가 시스템 및 DB구축 분포형 광섬유센서를 이용한 철도 차량 중량 불균형 평가 시스템 구축 전자기 카메라에 의한 철도차륜 표면 결함 검사 시스템 구축 		서로 차별성이 있음	

□ 자가진단 및 능동유지보수 지원시스템

- 자가진단 기술은 운행 데이터 또는 검수 데이터를 활용하여 철도차량 주요부품이 정상적으로 동작하는지 평가하고 부품의 적정 교체시기를 예측하여 유지보수 효율 향상을 위한 기술임. 철도 선진국에서는 차량부품의 진단을 위하여 다양한 물리량, 진동, 온도 및 음향 등의 측정 데이터와 검수 데이터를 복합적으로 평가하여 현재 상태를 진단하고 향후상태를 정확히 예측하는 기술이 개발되고 있음
- 철도차량 주요부품의 열화상태를 모니터링하고 정확하게 진단하기 위하여 영상, 온도, 진동 등 다양한 물리량의 데이터를 충분히 확보해야 될 뿐만 아니라 이를 분석하여 정확하게 열화 상태를 평가하고 손상을 예측하는 것이 핵심기술임. 현재 급속하게 발전하고 있는 인공지능, 빅 데이터 분석 기술을 적용하여 빅 데이터 물리량을 분석하고 열화상태 진단, 손상 예측을 실시한다면 정밀도가 향상될 뿐만 아니라 진단의 효율성도 높일 수 있음
- 능동유지보수 기술은 자동센싱 및 자가진단 결과를 활용하여 보다 유연하고 능동적으로 유지보수 계획을 수립하여 차량의 가용성 증가와 유지보수의 최적화를 추구하는 기술로서, 최적의 유지보수 계획 수립 기법을 확립하기 위한 알고리즘, 시스템 개발 및 수명주기비용을 최소화하기 위한 유지보수 계획의 책정방법 개발이 필요함
- 국외에서는 ICT를 활용한 저비용 유지보수 기술개발, 유지보수데이터 검측, 분석, 계획 수립, 부품관리 계획 등의 종합적인 유지보수 지원시스템을 운용하고 있음. 국내에서도 상태기반 유지보수체계 실행방안과 빅데이터 기반 유지보수전문가시스템에 대한 연구개

발이 수행되고 있음. 첨단화된 IT 기술을 융합 접목시켜 차량 상태를 유지보수관리자가 종합적이고 용이하게 분석하는 기술, 주요부품 이상발생 또는 점검 필요시에는 모바일 기기를 가진 현장 작업자 또는 접근이 어렵고 힘든 사이트에서는 자동화된 기기에게 즉시 전달하여 대응하는 기술, 최적의 유지보수 계획 수립 기술 등은 철도차량 능동유지보수 기술개발에 핵심임

세부과제명		기존 연구과제(최상위 과제명)			검토결과	
과제명	주요내용	과제명	주요내용	연구기관 (연구기간)	차별성	연계방안
자가진단 및 능동유지 보수기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> •주요부품 열화모델 개발 •복합물리량 분석기반 자가진단 및 예측시스템 개발 •능동대응 유지보수 지원시스템 개발 	상태기반 스마트 유지보수 핵심기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> •상태기반 유지보수체계 실행 방안 연구 •빅데이터 기반 유지보수전문가 시스템 개발 •동력전달계통 주요장치 CBM 모델 연구 	철도기술연구원 (2013-2017)	<ul style="list-style-type: none"> •선행과제는 고장 등 데이터기반 통계분석을 통해 유지보수 최적화를 수행하나, 본 과제는 차륜, 브레이크 패드 등 열화진전모델을 기반으로 자가진단 수행 ※ 통계분석을 위해서는 많은 고장데이터가 필요하나, 현실적으로 확보가 어려움 •선행과제는 동력전달계통을 대상으로 열차운행 중 CBM모델 개발을 목적으로 하였으나, 대상과제는 차륜, 브레이크 패드 등 수작업에 의존하는 일상, 월상검수의 자동화를 목적으로 함 	<ul style="list-style-type: none"> •고장데이터를 기반으로 한 유지보수 최적화와 열화모델을 기반으로 유지보수 최적화를 통한 모델의 상호보완을 통해 정확성 향상 •선행과제에서 개발된 고장모델과 연계를 통하여 종합적인 유지보수 체계 수립
		기존 안전검지장치 및 현장 운영데이터 기반 실시간 철도안전 통합 감시제어시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> •실시간 철도 안전관제 시스템 개발 •실시간 철도안전 의사결정 지원시스템 개발 •기존 안전검지장치 성능개선 및 고도화 개발 •실시간 철도안전 통합 감시/제어시스템 현장 적용 및 검증 	철도기술연구원 (2014-2019)	<ul style="list-style-type: none"> •선행과제는 데이터 기반 철도안전 의사결정을 수행하지만, 대상과제는 각각의 수학적 열화모델을 기반으로 센서데이터를 복합분석하여 유지보수 의사결정을 수행함 	<ul style="list-style-type: none"> •데이터 분석을 위한 빅데이터 분석 기법 및 결과는 상호 공유하여 사용할 수 있을 것으로 판단됨
		철도차량핵심부품 진단 및 고장예지 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> •부품이력관리 자동화 기술개발 •차상기반실시간 진단기술개발 •지상방식 차륜 및 베어링 검사 평가 기술개발 •부품 건전성관리 기술개발 	철도공사 (2014-2019)	<ul style="list-style-type: none"> •차륜의 찰상 및 차축베어링의 이상상태 감지 및 예지하는 기술을 수행하나, 대상과제는 차체 및 대차의 외관상태, 브레이크 패드 마모 등 수작업에 의존하는 일상, 월상검수의 자동화를 목적으로 함 	<ul style="list-style-type: none"> •차륜 및 차축베어링에 대한 고장 검사 및 예지 기술은 대상과제의 다른 부품에 적용시 연계가 가능함.

3절 경제적 타당성

1. 비용 추정

가. 연구개발비용

본 사업의 연구개발기간은 핵심기술개발을 2018년에서 2022년까지 5년간으로 계획하였으며 총 약 300억원(정부, 민간 포함)의 연구비를 제시하였다. 연차별 투입계획은 다음과 같다.

[표 4.6] 연차별 연구개발비용 투입계획

(단위: 백만원)

년도	2018년	2019년	2020년	2021년	2022년	합계
핵심기술개발	3,750	6,625	7,125	6,875	5,625	30,000

자료: 소요예산 투입계획

나. 상용화비용

상용화를 위한 비용은 차량 및 차량기지에 스마트 센서를 설치하기 위한 도입가격 증가분으로 가정하였다. 도입가격은 1량당 1억원으로 추정되었다.

전동열차의 수명은 예비타당성조사 지침 등에서 30년으로 제시되고 있으며, 현재 전국 각 도시철도 운영기관이 보유중인 차량은 총 7,644량이다.

[표 4.7] 기관별 전동차 보유현황

(단위: 량)

기관	코레일	서울 (1~4)	서울 (5~8)	부산	대구	인천	대전	광주	합계
보유	2,363	1,954	1,617	878	384	272	84	92	7,644

자료: 철도통계연보

본 기술은 TCMS가 설치된 동차형 열차에 적용 가능하며, 상용화 시나리오는 전동차 보유대수가 1,000량 이상인 수도권 지역 운영기관(코레일, 서울메트로, 서울도시철도공사)을 대상으로 각 기관의 보유차량 전체(5,934량)에 대하여 기술개발이 완성되는 2023년부터 2025년까지 3년 간 개량사업을 수행하는 것으로 가정하였다.

[표 4.8] 연차별 상용화비용 투입계획

(단위: 량, 억원)

년도	2023년 (1년차)	2024년 (1년차)	2025년 (1년차)	합계
개량(량)	2,000	2,000	1,934	5,934
비용(억원)	2,000	2,000	1,934	5,934

2. 편익 추정

가. 편익항목의 식별 및 추정방법

(1) 편익항목의 식별

본 사업의 편익항목은 기술개발사업 성공에 따른 수입대체 편익과 관련 수출편익이 있으며, 또한 제품 상용화를 통한 정시성 향상으로 통행시간이 절감되는 편익을 포함한다.

[표 4.9] 편익의 구성 및 내용

구성	내용	비고
기술개발 사업을 통한 부가가치 창출 편익	수입대체편익	기술개발로 인해 국내 시장에서 수입제품이 아닌 국내제품을 도입함에 따른 편익
	수출편익	기술개발로 인해 국제 시장에 제품을 수출함에 따른 편익
제품 상용화를 통한 편익	유지보수비용 절감편익	제품 상용화로 유지보수시간이 단축됨에 따라 유지보수인력 투입비용이 절감됨에 따른 편익

(2) 편익항목별 추정방법

(가) 수입대체 편익

기술개발로 인해 국내 시장에서 수입제품이 아닌 국내제품을 도입함에 따른 수입대체 편익은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned}
 \text{수입대체편익} &= \text{국내 업체의 생산대수} \\
 &\quad \times \Sigma(\text{개별 가격} \times \text{기술개발 성공률} \times \text{사업화 성공률}) \\
 &\quad \times \text{연도별 국내시장 점유율} \times \text{부가가치율} \times \text{R\&D기여율}
 \end{aligned}$$

(나) 수출편익

기술개발로 인해 국제 시장에 제품을 수출함에 따른 수출편익은 다음과 같이 표현된다.

$$\text{수출편익} = \sum (\text{해외 수출규모} \times \text{기술개발 성공률} \times \text{사업화 성공률}) \times \text{부가가치율} \times \text{R\&D기여율}$$

(다) 유지보수비용 절감편익

유지보수비용 절감편익은 사업시행으로 열차 유지보수 시간이 단축됨에 따라 유지보수 인력 투입비용이 절감됨에 따른 편익을 정량적으로 산출한다.

$$\frac{I_{\text{시행}}}{I_{\text{미시행}}} \times U \times C \times P$$

여기서,
 $I_{\text{시행}}$: 시행 시 량 당 유지보수 시간
 $I_{\text{미시행}}$: 미 시행 시 량 당 유지보수 시간
 U : 량당 유지보수 인원 원단위 (인/량)
 C : 전동차 보유대수 (량)
 P : 인건비 (인/년)

철도부문 예비타당성조사의 비용추정 지침에서 광역 및 도시철도의 차량 유지보수 인원은 다음의 산정기준 원단위를 적용하되 소수점 첫째 자리에서 올림하여 적용한다. 인건비는 연도별 소요인원에 클린아이지방공기업 경영정보시스템(www.cleaneye.go.kr)에 제시된 해당 기관의 기준년도 직원 평균 보수를 적용한다.

[표 4.10] 광역 및 도시철도 차량 유지보수 인원 산정기준

(단위: 인/량)

	경정비	중정비
소요인원	0.40	0.06

주: 단장과 근무방식(경정비 3교대, 중정비 일근)이 고려된 산정기준임.
 자료: 한국개발연구원(2015), 철도부문 사업의 예비타당성조사 운영비 추정 개정안

[표 4.11] 도시철도 기관 평균 인건비

(단위: 천원/인/년)

	2011	2012	2013	2014	2015
인건비	48,848	58,748	58,433	59,905	61,919

자료: 클린아이 지방공기업 경영정보시스템

철도차량의 정비는 도착 및 일상검사, 월상검사, 중간검사 및 전반검사로 구분된다. 여기서 중간검사 및 전반검사는 2년 또는 6년 주기로 시행하는 검사로써 차량 전체를 분해 검사하는 중정비 작업에 해당한다. 도착 및 일상검사, 월상검사는 차량을 분해하지 않고 주요부품의 상태 및 기능을 점검하는 경정비 작업으로 많은 인력을 소요한다.

본 기술도입을 통해 경정비 작업 중 일부 항목을 자동화할 수 있으며 그 내용은 다음과 같다. 검사주기에 따라 일부 차이는 있으나 대체로 시행전후 40% 내외의 검사시간이 단축될 수 있을 것으로 분석되었다.

[표 4.12] 검사종별 자동화 가능항목 및 도입효과 예측

(단위: 항목)

	기존	자동화 후	증감	%
도착검사	21	13	-8	-38%
일상검사	121	71	-50	-41%
월상검사	158	97	-61	-39%
합계	300	181	-119	-40%

자료: 본 연구 보고서

고속철도차량의 유지보수 비용은 연간 약 1,500억원으로 산정¹¹⁾되며, 그 중 인건비는 약 37.8%, 경비 12.4%, 부품수선비를 포함한 자산관련 경비가 약 49.8%로써 KTX-I 이 46편성 920량이므로 량당 연간 약 1억 6천만원의 유지보수비용 소요됨. 여기에 인건비 항목을 단순 산술적으로 계산하면 인건비는 량당 약 6천만원으로 총 량수로 계산하면 556억원이며, 이중 40%를 절감하면 222억원이 절감되며, 20%를 절감하더라도 약 111억원/년으로 계산됨

나. 기술 수요 전망

(1) 산업 전망

독일 철도통계 전문기관인 SCI Verkehr에 따르면 세계 철도시장은 2014년 기준 209조 원으로 연평균 3.4% 성장해 2018년 230조원 규모에 달할 것으로 전망되며 이 중 철도차량은 60%를 차지하며 차량구매와 유지관리가 각각 50%를 차지한다.

철도차량 유지보수 등 사후서비스에 대한 세계시장 규모는 490억 유로 수준이며, 이 경정비는 290억 유로(59%), 중정비는 155억 유로(32%) 규모로 나타난다. 유형별로 살펴보면 화물차량이 48%, 여객차량이 38%, 도시철도차량이 14%를 차지한다.

이상을 종합하면 도시철도차량의 경정비 시장 규모는 연간 40.6억 유로 (5.3조원) 규모로 추산된다.

11) 출처: KTX 차량 유지보수 비용구조 분석사례 연구, 2015 한국철도학회 추계학술대회 논문집

(2) 부가가치율 및 R&D 기여율

한국은행과 통계청에서 발표한 철도차량산업의 업종 부가가치율의 평균을 본 사업을 통해 발생하는 철도차량산업의 추가적인 매출에서 부가가치가 차지하는 비중으로 가정하였다. 한국은행 및 통계청이 발표한 철도차량산업의 업종 부가가치율의 평균은 29.3% 정도이다.

[표 4.13] 철도차량산업의 부가가치율

	2007년	2008년	2009년	2010년	평균
부가가치율	32.20%	31.95%	26.98%	25.91%	29.26%

자료: 한국은행

또한 본 사업의 기술개발 활동이 부가가치의 창출에 어느 정도 기여하였는가를 추정하기 위하여 R&D 기여율을 추정한다. 이전의 유사 사업에 대한 예비타당성조사에서 가정하였던 방법론을 원용하였다. 평균은 26.2% 정도이다.

[표 4.14] 우리나라 R&D 스톡의 성장기여도

연구자	STEPI(2007)	신태영(2004)	하준경(2005)	문소상(2004)	평균
연구기간	1971~2004	1981~2002	1991~2000	1981~2002	26.2%
성장기여도	30.6%	28.1%	22.7%	23.3%	

자료: 각 연구

다. 편익추정 결과

(1) 기술개발사업에 따른 편익

(가) 수입대체 편익

수요처가 한정된 제품인 철도차량의 특성 상 본 평가에서는 내수물량 전망치를 본 평가에서 제시한 장래 상용화 계획의 발주예정 물량으로 인용하였다.

도입가격을 1.0억원/량으로 가정하고 국산화율(50%), 부가가치율(29.26%)과 R&D기여율(26.20%)을 반영한 수입대체 편익은 량당 0.04억원/년으로 추정되었다.

[표 4.15] 연차별 내수수요전망

(단위: 량, 억원)

년도	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	합계
개량(량)	2,000	2,000	1,934								5,934
비용(억원)	2,000	2,000	1,934								5,934
편익(억원)	76.66	76.66	74.13								227.45

(나) 수출편익

도시철도차량의 경정비 시장 규모는 현재 연간 40.6억 유로 (5.3조원) 규모로 추산된다. 만약 본 기술 도입을 통해 철도차량 유지보수 시장에 신규 진입이 가능해진다고 가정한다면, 국내 업체인 현대로템(Hyundai Rotem)의 현 철도차량 신규발주 점유율인 2.4%를 참고하여 같은 수준을 고려할 때 연간 약 1,272억 원의 수출증대가 이루어질 것으로 전망된다.

국산화율(50%), 부가가치율(29.26%)과 R&D기여율(26.20%)을 반영한 수출편익은 연간 97.51억원에 이를 것으로 전망된다.

[표 4.16] 연간 수출편익 추정

시장규모	점유율	국산화율	부가가치율	R&D기여율	수출편익
5.3조원	2.4%	50%	29.26%	26.20%	97.51억원

(2) 기술도입에 따른 편익

개발된 기술을 상용화하여 유지보수인력 투입비용이 절감됨에 따른 편익을 산출하였다. 량당 평균 약 0.1억원/년씩이 절감되어 총 5,934량에 대해 도입 시 연간 편익이 587.88억원에 이를 것으로 추정되었다.

[표 4.17] 연간 유지보수비용 절감편익 추정

유지보수시간 절감비율	유지보수인원 (인/량)	인원절감량 (인/량)	평균인건비 (천원/인/년)	도입량수 (량)	유지보수 절감편익
40%	0.40	0.16	61,919	5,934	587.88억원

3. 경제성 분석

가. 경제성 분석의 전제

경제성 분석은 예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정정보완 연구(제5판)에 의거하여 수행하였다. 연구개발에 의한 편익발생기간은 2023년에서 2033년까지 10년간으로 분석하였으며, 상용화 사업기간은 2023년에서 2025년까지 3년으로 가정하였다. 편익발생기간은 상용화 사업완료 후 20년 인 2045년까지 20년간으로 분석하였다.

나. 경제성 분석 결과

분석 결과 B/C는 1.20으로 연구개발 및 상용화의 경제성이 있는 것으로 나타났다.

[표 4.18] 경제성 분석 결과 (2016년 현재가치 환산)

	비용 (억원)	편익 (억원)	B/C	NPV (억원)
연구개발 부문	201.55	698.86	3.47	497.31
상용화 부문	4000.4	4351.81	1.09	351.41
합 계	4,201.95	5,050.67	1.2	848.72

주) 사회적 할인율 5.5%

[표 4.19] 연구개발 부문의 경제성 분석 결과

연도	연구개발 비용	비용합계 (할인전)	비용합계 (할인후)	수입대체 편익	수출증대 편익	편익합계 (할인전)	편익합계 (할인후)
2018	30	30	28.35			0	0
2019	53	53	47.33			0	0
2020	57	57	48.1			0	0
2021	55	55	43.86			0	0
2022	45	45	33.91			0	0
2023		0	0	76.66	97.51	174.17	124.04
2024		0	0	76.66	97.51	174.17	117.22
2025		0	0	74.13	97.51	171.64	109.16
2026		0	0		97.51	97.51	58.61
2027		0	0		97.51	97.51	55.38
2028		0	0		97.51	97.51	52.34
2029		0	0		97.51	97.51	49.46
2030		0	0		97.51	97.51	46.74
2031		0	0		97.51	97.51	44.17
2032		0	0		97.51	97.51	41.74
합계	240	240	201.55	227.45	975.1	1,202.55	698.86

[표 4.20] 상용화 부문의 경제성 분석 결과

연도	차량 구매비	비용합계 (할인전)	비용합계 (할인후)	통행시간 절감편익	편익합계 (할인전)	편익합계 (할인후)
2023	2000	2000	1424.36			
2024	2000	2000	1346.02			
2025	1934	1934	1230.02			
2026				587.88	587.88	353.33
2027				587.88	587.88	333.89
2028				587.88	587.88	315.53
2029				587.88	587.88	298.17
2030				587.88	587.88	281.77
2031				587.88	587.88	266.28
2032				587.88	587.88	251.63
2033				587.88	587.88	237.79
2034				587.88	587.88	224.71
2035				587.88	587.88	212.35
2036				587.88	587.88	200.67
2037				587.88	587.88	189.64
2038				587.88	587.88	179.21
2039				587.88	587.88	169.35
2040				587.88	587.88	160.04
2041				587.88	587.88	151.23
2042				587.88	587.88	142.92
2043				587.88	587.88	135.06
2044				587.88	587.88	127.63
2045				587.88	587.88	120.61
	5,934	5,934	4,000.4	11,757.6	11,757.6	4,351.81

4절 타당성 검토 종합

1. 기술개발투자의 시급성

- 일반철도 및 도시철도는 도입되어 운행되는 차량 중에 노화된 차량이 많아지고 있으며, 고속철도 역시 국내에 도입된지 10여년 이상을 운행하면서 점차 노후화되고 있으므로 유지보수시간 및 비용이 증가하고 있음. 노후화되는 차량의 유지보수는 신뢰성이 가장 우선시 되어야 하며, 신뢰성 있는 유지보수는 철도차량의 안전운행으로 연결되기 때문에 관련 필요기술과 기술도출이 시급히 필요한 실정임
- 영업운행시 또는 정비기지로 입고/출창 전후에 차량 상태를 진단 및 감시할 수 있는 시설과 설비 미비로 각종 장애가 발생하여 사회적인 문제로 부각됨. 철도산업의 신뢰도 저하의 원인으로 작용하고 있으며, 안전운행을 담보할 수 있는 IoT 융합형 유지보수 개발을 위한 연구가 시급한 실정임
- 철도차량 유지보수 선진화는 철도차량의 신뢰성과 승객의 안전성과 직결되는 분야이지만, 현재 유지보수에 사용되는 장비는 국외에서 개발된 장비로 고장 시에는 부품조달의 어려움과 신뢰성 및 기술력 부족으로 사용하는 데 어려움이 있어 관련 연구개발이 시급함. 또한 철도 유지보수 자동화 장비가 국내에서 일부 개발된 바 있으나 신뢰성 및 완성도가 높지 못하여 현장에 사용 실적이 저조함.
- 최근 해외철도시장은 단순히 차량, 인프라 등의 개별적 공급에서 벗어나 운용을 포함한 전체 철도시스템을 요구하는 추세이므로, IoT 기술을 철도 시스템 전체에 적용하여 세계 시장에서 경쟁력을 갖춘 지능형 자가진단 및 능동대응 기술 개발이 시급이 요구됨. 중국의 저가공세와 철도 선진국의 기술력에 밀려 존재의 위기에 있는 철도산업의 해외 진출을 위해서는, 정부가 주도한 기술 개발이 시급함
- 경영효율 측면에서 검수주기 연장과 유지보수비용의 절감에 대한 요구를 만족시킴과 동시에 안전성을 확보하기 위한 신뢰성 있는 진단 및 검사 기술 개발이 필요하며, 고장진단 장비 기술의 해외 종속이 심화되어 대부분 검사 시스템을 단순 도입하여 이용하는 수준이라 장비 이상 발생 시 적절한 조치가 어렵고, 적시에 검사를 수행하지 못하는 경우가 많음. 따라서 제4차 산업혁명에 따른 인공지능, 빅데이터, IoT 등을 철도차량 유지보수에 접목시킨 국내 고유 기술개발이 시급함.

2. 정부 상위계획과의 부합성

- 정부에서는 국민행복을 위한 빠르고 안전하고 경제적인 철도개발과 철도산업을 고부가가치 창조형 신성장 동력으로 육성하기 위한 정책을 추진 중이며 빠르고 지능적인 철도(SMART), 중대사고 ZERO의 안전하고 편리한 철도(SAFE), 정확하고 경제적인 철도(ECONOMICAL)의 가치에 부합한 과제임.
 - 빠르고 지능적인 철도 (SMART)

- (빠른 철도) 전 국토를 90분에 연결하는 철도 고속화 및 수송효율 향상
- (지능적인 철도) 무인운영이 가능한 차량, 선로, 전력, 신호시스템 개발
- 안전하고 편리한 철도 (SAFE)
 - (안전한 철도) 철도중대사고 ZERO의 철도안전 기술
 - (편리한 철도) 여객불만 ZERO의 차량역사 승객편의 기술
- 정확하고 경제적인 철도 (ECONOMICAL)
 - (정확한 철도) 운행지연 ZERO의 철도운영 기술
 - (경제적인 철도) 건설비, 전력비, 운영비, 승차요금 50% 저감 기술
- 제3차 국가교통기술개발계획의 중점 추진과제로써 “빠르고 지능적인 철도”, “안전하고 편리한 철도”, “정확하고 경제적인 철도” 로 구분하고 있으며, 외국기술 의존 심화, 고장원인 분석과 해결지연으로 인한 운행 차질 초래 등 장기적인 관점에서 철도의 안정성 확보를 위한 근본적인 기술개발 필요함.
- 국토교통 연구개발 중장기 전략(2014-2023)에서는 미래가치 창출을 위한 10대 중점 프로젝트를 발굴·제시하고 있으며, 철도교통시스템의 안전성 및 경제성을 위한 기술로 “철도차량 및 인프라 상태를 자동으로 실시간 모니터링, 진단 및 유지보수 기술을 개발하여 안전사고 예방 기술” 에 부합한 과제임.
- 제3차 철도안전종합계획(2016~2020)에서는 비전으로는 “국민이 안심하고 신뢰하는 인명중시 철도안전 구현” 과 목표로써 대형철도사고 ZERO화, 철도사고 30%감소(2020년까지)를 설정하고 있으며 이에 부합한 과제임.
 - 노후차량 교체, 부품관리 강화 등 철도 운행 안전성 제고
 - 노후시설 개량, 생애주기 관리 강화 등 철도 인프라의 안전성 향상
 - 안전투자 확대, 원천기술 개발 등을 통한 안전산업 활성화

3. 경제적 타당성 검토

- 경제성 분석은 예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정보완 연구(제5판)에 의거하여 수행함.
- 연구개발기간은 핵심기술개발을 2018년에서 2022년까지 5년간으로 계획하였으며 총 약 280억원의 연구비를 제시하였음
- 본 기술은 TCMS가 설치된 동차형 열차에 적용 가능하며, 상용화 시나리오는 전동차 보유대수가 1,000량 이상인 수도권 지역 운영기관(코레일, 서울메트로, 서울도시철도공사)을 대상으로 각 기관의 보유차량 전체(5,934량)에 대하여 기술개발이 완성되는 2023년부터 2025년까지 3년 간 개량사업을 수행하는 것으로 가정하였음.
- 연구개발에 의한 편익발생기간은 2023년에서 2033년까지 10년간으로 분석하였으며, 상용화 사업기간은 2023년에서 2025년까지 3년으로 가정하였음. 편익발생기간은 상용화 사업완료 후 20년 인 2045년까지 20년간으로 분석하였음.

- 상용화를 위한 비용은 차량 및 차량기지에 스마트 센서를 설치하기 위한 도입가격 증가분으로 가정하였으며, 도입가격은 1량당 1억원으로 추정하였음.
- 도입가격을 1.0억원/량으로 가정하고 국산화율(50%), 부가가치율(29.26%)과 R&D기여율(26.20%)을 반영한 수입대체 편익은 량당 0.04억원/년으로 추정되었음.
- 도시철도차량의 경정비 시장 규모는 현재 연간 40.6억 유로 (5.3조원) 규모로 추산되며, 만약 본 기술 도입을 통해 철도차량 유지보수 시장에 신규 진입이 가능해진다고 가정한다면, 국내 업체인 현대로템(Hyundai Rotem)의 현 철도차량 신규발주 점유율인 2.4%를 참고하여 같은 수준을 고려할 때 연간 약 1,272억 원의 수출증대가 이루어질 것으로 전망됨. 국산화율(50%), 부가가치율(29.26%)과 R&D기여율(26.20%)을 반영한 수출편익은 연간 97.51억원에 이를 것으로 전망됨.
- 개발된 기술을 상용화하여 유지보수인력 투입비용이 절감됨에 따른 편익을 산출하였음. 량당 평균 약 0.1억원/년씩이 절감되어 총 5,934량에 대해 도입 시 연간 편익이 587.88억원에 이를 것으로 추정되었음.
- 분석 결과 B/C는 1.20으로 연구개발 및 상용화의 경제성이 있는 것으로 나타남.

4. 정부 미지원시 문제점

- 첨단 IoT·ICT 기술을 융합한 모니터링 및 진단기술 미개발로 인하여 선진국의 첨단 유지보수기술 및 유지보수장비의 종속화, 관련기술 경쟁력 저하, 관련분야 해외 시장 진출 불가 등의 문제점 발생이 예상되므로 정부 차원에서의 지원이 필요함.
- 차량의 노후화에 따른 유지보수시간, 비용 증가와 운행장애 증가 등의 문제점이 발생하며, 유지보수 외주화에 따른 정비의 부실화 가능성 증가, 유지보수 신뢰성 감소 등에 따른 철도안전에 영향을 크게 미치므로 정부주도의 기술개발이 필요함.
- 제2차 국가철도망 구축계획 2011-2020(2011.4)에 의하면 장래 지역간 총 목적 통행량은 1일 '07년 1,398만 통행에서 '36년 1,567만 통행으로 증가할 것으로 예상되기 때문에 이에 대응하기 위한 차량의 유지보수 및 안전성 확보는 필수적이므로 정부지원이 반드시 필요함.
- 스마트 유지보수기술은 철도차량 분야뿐만 아니라 타 분야의 확장성이 매우 높은 기술이며, 우주항공, 자동차/조선, 원자력플랜트 등 다양한 분야에서 응용이 가능하므로 정부 지원이 필요함